

**UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL COMPOSTAJE
DE PULPA DE CAFÉ**



**AYDA YAZMÍN MUÑOZ CUARÁN
CRISTIAN ANDRES SALAMANCA ORDOÑEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERIA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2023**

**UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL COMPOSTAJE
DE PULPA DE CAFÉ**



**AYDA YAZMÍN MUÑOZ CUARÁN
CRISTIAN ANDRES SALAMANCA ORDOÑEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación como requisito para
optar al título de Ingenieros Agropecuarios.**

Directores

Alveiro Salamanca Jiménez MSc PhD

Noe Alban López MSc

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERIA AGROPECUARIA
POPAYÁN**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Los directores y los jurados han leído el presente trabajo, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

Alveiro Salamanca Jiménez MSc PhD

Noe Alban López MSc

Presidente del jurado

Jurado

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios todo poderoso por ser mi guía y por hacer de todo esto posible, por la salud y todas las bendiciones en mi vida.

A los dos seres más importantes en mi vida, mis padres, Antonio y Carmela por el apoyo incondicional desde el primer hasta el último día de este recorrido, por su amor, ejemplo y compañía en los momentos de alegría y en esos momentos cuando sentía que no sería capaz, por esa llamada diaria que me recargó siempre que lo necesité y por ser mi fuente de inspiración.

A mi ahijado Luian Andrés por llegar en el momento preciso a mi vida y llenarla de color y momentos hermosos, por ser un impulso más para continuar.

A mi familia lejos de casa Nathaly, Annie, Fredy y Karen que siempre me alentarony me motivaron a continuar y a no desistir en momentos de soledad en un lugar nuevo para mí, igualmente al señor Raúl Rodríguez por su apoyo para mis padres y para mí en los momentos cuando más lo necesitamos.

A todos mis compañeros de carrera especialmente a Daniela, Camila, Jefferson y Stiven por su comprensión, por estar en todo momento y por convertirse en mis amigos a lo largo de estos años, los llevaré siempre en mi corazón.

A mi compañero de tesis por su acompañamiento en el desenlace de este proceso, por su amistad, confianza y apoyo, gracias.

A todos quienes hicieron parte de este proceso les dedico este gran logro.

Ayda Yazmín Muñoz Cuarán

Primero a Dios creador del todo, por darme la vida, salud y fortaleza, por permitirme alcanzar con éxito este triunfo y por ser mi guía en todo momento.

Le dedico este logro con todo el amor del mundo a mis padres Milena Ordoñez y Andrés Salamanca por brindarme su amor, paciencia y cariño, por ser esa fuente de apoyo incondicional en los días buenos y no tan buenos, por creer siempre en mí y motivarme a salir adelante, por guiarme por el camino correcto y no desfallecer, por enseñarme a ser una persona llena de principios y valores, por todo eso y mucho más de todo corazón gracias, mamá y papá, es un orgullo para mí dedicarles este triunfo.

A mi hermano Cristopher Salamanca quien siempre ha estado acompañándome en toda mi vida, por ser mi respaldo, por aconsejarme, por aportar sus conocimientos a mi trabajo, por darme palabras de aliento cuando más las necesité, por escucharme y así cumplir este sueño, este logro también es tuyo hermano.

A mis familiares por incentivar me a terminar mi trabajo, a ser perseverante y no desistir y por todo el apoyo brindado durante este proceso.

A mi compañera de tesis por su amistad, afecto y confianza, gracias por el aprendizaje y las experiencias vividas a lo largo del trabajo.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis compañeros de la universidad y amigos, por compartir sus conocimientos, por su colaboración, por apoyarme en mi formación profesional y por los gratos momentos vividos a lo largo de todos estos años.

Cristian Andres Salamanca Ordoñez

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo al todo poderoso por darnos salud y vida para poder culminar esta etapa como profesionales de tan importante sector como es el agropecuario.

A nuestra familia y seres queridos quienes estuvieron siempre, por su amor, apoyo incondicional y motivación además por ser nuestro camino a seguir enseñándonos a afrontar las dificultades y a ser personas de muchos principios y valores.

A la Universidad del Cauca por acogernos para iniciar y culminar este proceso como profesionales, a los profesores y administrativos por su constante acompañamiento y enseñanza a lo largo de estos años de carrera haciendo de nosotros seres humanos íntegros, responsables y llenos de valores.

Al grupo de investigación SISINPRO y a su director MSc PhD Iván Enrique Paz por brindarnos su aval para el desarrollo de la investigación.

A nuestros directores MSc PhD Alveiro Salamanca Jiménez y MSc Noe Alban López por su acompañamiento e incondicional apoyo de principio a fin en el desarrollo de nuestro trabajo de grado, por brindarnos su motivación, confianza y conocimientos que permitieron culminar este trabajo de forma satisfactoria.

A nuestros evaluadores Consuelo Montes Rojas y Fabio Alonso Prado Cerón por sus aportes y recomendaciones en la revisión de nuestro trabajo de grado.

A Tecnicafé, su aliado Supracafé y todas las personas que hacen parte de estas importantes instituciones por permitirnos realizar el trabajo de campo de nuestra investigación en sus instalaciones, por su apoyo y disposición para el buen desarrollo de las actividades requeridas.

A los señores Edwin Agudelo y Arnulfo Campaña que estuvieron a disposición para colaborarnos con su trabajo y experiencia, fuente fundamental en el desarrollo de las actividades llevadas a cabo, así como también por su compromiso con el sector cafetero logrando importantes avances para este.

A nuestros compañeros de estudio que con el pasar de los años estuvieron presentes en todos los momentos de este camino, por su apoyo y por cada instante que vivirá siempre en nuestros más gratos recuerdos.

RESUMEN

La presente investigación se basó en la utilización de microorganismos eficientes (ME) en el compostaje de pulpa de café, considerando que el café es uno de los principales cultivos en Colombia que produce anualmente unos 11,4 millones de sacos de 60 kg de café verde y que en su proceso de beneficio genera como subproducto más de 2 millones de toneladas de pulpa fresca, los cuales necesitan la implementación de buenas prácticas de manejo para evitar problemas ambientales. Luego el propósito del trabajo fue promover un mejor aprovechamiento de la pulpa mediante el proceso de compostaje incluyendo el uso de ME para disminuir el tiempo de descomposición y mejorar la calidad del compost. Para ello se llevaron a cabo las actividades de adecuación del lugar, construcción de las cajas composteras, ubicación y posterior llenado con las materias primas que hicieron parte del compost: pulpa de café (PC), gallinaza (G) y ME. Durante la primera fase del proceso que duro dos meses se midió humedad, temperatura y pH del compost, y se efectuaron volteos y riegos con los ME semanalmente. Finalizada esta etapa se realizó un análisis fisicoquímico del material compostado, y se procedió a una segunda fase de la investigación evaluando la calidad del compost en chapolas de café durante la etapa de almácigo.

Se empleó el diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos T1: testigo, T2: Degradex, T3: Aqua Clean, T4: ME caseros y tres repeticiones. Para las variables temperatura, humedad y pH se realizó un análisis descriptivo a través del tiempo. Para las demás variables se efectuó un análisis de varianza ANOVA ($P < 0,05$) y comparación de medias el cual no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos con respecto al testigo sin aplicación de ME. Los valores reportados por el análisis fisicoquímico y las variables de respuesta se encontraron dentro los rangos que exige la NTC 5167, por lo que, aunque no hubo efecto de los tratamientos, a los dos meses se registró estabilidad en las variables evaluadas y se obtuvo un compost con excelentes características fisicoquímicas. Por el contrario, el análisis de varianza para la fase de evaluación en chapolas si mostró diferencias significativas y a partir de la prueba de promedios TUKEY se pudo determinar que el mejor tratamiento fue T4, estadísticamente similar al T3, y este resultado se asoció principalmente con su mayor variedad de especies de ME que el T2 y el testigo.

PALABRAS CLAVES: Microorganismos eficientes; café; compost; temperatura; humedad; pH.

ABSTRACT

The present research was based on the use of efficient microorganisms (EM) in the composting process of coffee pulp, considering that coffee is one of the major crops in Colombia that annually produces about 11,4 million 60 kg bags of green coffee and that in its processing process generates more than 2 million tons of fresh pulp as a by-product, which need the implementation of good management practices to avoid environmental issues. Then, this study aimed to promote a better use of coffee pulp through the composting process, including the use of efficient microorganisms to reduce the decomposition time and to improve the compost quality. For this end, the activities of site preparation, construction of the composting boxes, location and subsequent filling with the raw materials that were part of the compost: coffee pulp (CP), chicken manure (G) and efficient microorganisms (EM) were carried out. During the first stage of the process, which lasted two months, moisture, temperature and pH of the compost were measured, and turning and watering with the EM were weekly carried out. At the end of this stage, a physicochemical analysis of the composted material was carried out, and a second phase of the research was carried out to evaluate the quality of the compost in coffee new plants during the seedling stage.

A randomized complete block design was used with four treatments T1: control, T2: Degradex, T3: Aqua Clean, T4: homemade EM and three replicates. For the temperature, moisture and pH variables, a descriptive analysis was performed over time. For the other variables, an analysis of variance ANOVA ($P < 0,05$) and comparison of means were carried out, which showed no significant differences among treatments related to the control without application of EM. The values reported by the physicochemical analysis and the response variables were within the ranges required by NTC 5167, so that, although there was no treatments effect, at two months there was stability in the variables evaluated and a compost with excellent physicochemical characteristics was obtained. On the other hand, the analysis of variance for the evaluation phase in coffee seedlings did show significant differences and from the TUKEY averages test it was possible to determine that the best treatment was T4, statistically similar to T3, and this result was mainly associated with its greater variety of EM species than T2 and the control.

KEY WORDS: Efficient microorganisms; coffee; compost; temperature; moisture; pH.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1 LOCALIZACIÓN.	16
1.2 MARCO TEÓRICO.	16
1.2.1 Caficultura a nivel mundial.	16
1.2.2 Caficultura en Colombia.	16
1.2.3 Generalidades del café.	17
1.2.4 Subproductos del beneficio del café.	17
1.2.4.1 Características de la pulpa de café.	17
1.2.5 Alternativas complementarias.	18
1.2.5.1 Gallinaza.	18
1.2.6 Compostaje.	19
1.2.6.1 Fases del compostaje.	20
1.2.6.2 Factores que influyen en el proceso de compostaje.	21
1.2.6.3 Calidad del compost.	23
1.2.7 Norma Técnica Colombiana 5167.	23
1.2.8 Microorganismos eficientes (ME).	24
1.2.8.1 ME en compostaje.	24
1.2.8.2 Grupos representativos de ME.	25
1.2.9 Aplicación de compost.	26
1.2.10 Almacigo.	26
1.2.10.1 Integración de compost en almacigos de café.	26
1.2.10.2 Establecimiento del almacigo.	26
1.2.10.3 Requerimientos nutricionales del almacigo de café.	27
1.3 MARCO HISTÓRICO.	27
1.3.1 Antecedentes.	27
1.3.1.1 Estudios a nivel internacional.	27
1.3.1.2 Estudios a nivel nacional.	28
2. METODOLOGÍA	30
2.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.	30
2.1.1 Localización.	30
2.1.2 Determinación de parámetros físico-químicos de las materias primas.	30
2.1.3 Construcción de cajas composteras.	30
2.1.4 Obtención de ME.	31
2.1.4.1 Obtención de ME caseros.	32

2.1.4.2 Identificación de microorganismos en los tratamientos.	33
2.1.5 Adecuación del lugar de trabajo.	33
2.1.5.1 Instalación y señalización.	33
2.1.6 Registro y toma de datos.	35
2.1.7 Volteos.	35
2.1.8 Aplicación de EM.	36
2.1.9 Pesaje del producto final.	37
2.1.10 Toma de muestras y análisis de laboratorio.	37
2.1.11 Implementación de almacigo de café.	37
2.1.11.1 Manejo fitosanitario.	40
2.1.11.2 Variables evaluadas.	40
2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	41
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS.	42
3.2 IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES.	43
3.3 ANÁLISIS CUALITATIVO DE VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y pH.	45
3.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL COMPOST DE PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO ME.	48
3.4 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL COMPOST DE PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO ME.	53
3.5 ANÁLISIS DE COSTOS.	54
3.6 DETERMINACIÓN DE PESO SECO AÉREO Y RADICULAR DE LAS PLANTAS DE CAFÉ.	55
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS VARIABLES PESO SECO AÉREO Y RADICULAR.	55
4. CONCLUSIONES	59
5. RECOMENDACIONES	60
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del sitio de ensayo.	16
Figura 2. Dinámica del proceso de compostaje.	19
Figura 3. Fases del compostaje de acuerdo con la evolución de temperatura.	20
Figura 4. Prueba de humedad. A) Muestra de gallinaza. B) Pesaje de muestras.	30
Figura 5. Construcción de las 12 cajas composteras. A) Elaboración de las cajas. B) Medidas de las cajas.	31
Figura 6. Microorganismos comerciales. A) Aqua Clean. B) Degradex.	31
Figura 7. Obtención de ME caseros. A) Vasos con Arroz. B) Ubicación de vasos en el bosque. C) Preparación de la mezcla con melaza. D) Almacenamiento de ME caseros.	32
Figura 8. Adecuación del espacio de trabajo. A) Lugar de trabajo antes. B) Lugar de trabajo después.	33
Figura 9. Ubicación y llenado de cajas composteras. A) Ubicación de las cajas. B) Llenado de cajas composteras con materias primas. C) y D) Señalización de los tratamientos.	34
Figura 10. A) Dispositivos para toma de datos (Termómetro, medidor de humedad y pH). B) Toma de datos.	35
Figura 11. A) y B). Volteos del material.	36
Figura 12. A) Medición de dosis de ME. B) Mezcla de ME en agua. C) y D) Aplicación de ME al compost.	36
Figura 13. Pesaje del material final. A) Pesaje de compost por tratamiento. B) Empaque del compost y señalización por tratamientos.	37
Figura 14. Toma de muestras de compost.	37
Figura 15. Adecuación de lugar y establecimiento del almácigo. A) Limpieza y nivelación del lugar. B) Establecimiento de puntales.	38
Figura 16. C) y D). Implementación de polisombra y protección contra el daño por aves cercanas.	38
Figura 17. A) Preparación del sustrato. B) Llenado de bolsas.	39
Figura 18. Establecimiento de almácigo. A) Chapolas. B) y C) Siembra de chapolas. D) Instalación y siembra definitiva del almácigo.	39
Figura 19. Determinación peso seco aéreo y radicular. A) Extracción de las plantas del sustrato. B) Planta completa. C) Pesaje de la planta seca. D) Parte radicular seca.	40
Figura 20. Distribución e identificación del diseño experimental.	41
Figura 21. Identificación de ME caseros.	45
Figura 22. Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje.	46
Figura 23. Comportamiento de humedad en compostaje de pulpa de café con ME.	46
Figura 24. Comportamiento de pH en compostaje de pulpa de café con ME.	47
Figura 25. A) Color inicial; B) Color final.	48
Figura 26. Porcentaje de Nitrógeno en compost.	49
Figura 27. Porcentaje de Fósforo en compost.	50
Figura 28. Porcentaje de Potasio en compost.	50
Figura 29. Porcentaje de calcio y magnesio en compost.	51
Figura 30. Carbono orgánico oxidable en compost.	52
Figura 31. pH en compost de pulpa de café.	52

Figura 32. Conductividad eléctrica en el compost.	53
Figura 33. Porcentaje de reducción de los tratamientos.	54
Figura 34. Promedio peso seco de la parte aérea de plantas de café.	56
Figura 35. Promedio peso seco de la parte radicular de plantas de café.	56
Figura 36. Síntomas de clorosis calcárea en plantas de café.	57
Figura 37. Desarrollo de las plantas de café por tratamiento.	58

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Contenido nutricional de la pulpa de café, adaptado de Avilés, 2018.	18
Cuadro 2. Contenido nutricional de la gallinaza según diferentes autores.	18
Cuadro 3. Calidad del compost según NTC 5167/2011.	23
Cuadro 4. Cantidad de materias primas empleadas en el proceso de compostaje por repetición.	34
Cuadro 5. Resultados del análisis fisicoquímico de pulpa de café y gallinaza.	42
Cuadro 6. Humedad en pulpa de café y gallinaza mediante método gravimétrico.	42
Cuadro 7. Ficha técnica Aqua Clean ACF- 32 y Degradex.	43
Cuadro 8. Identificación de ME caseros por su color, de acuerdo con revisión bibliográfica.	44
Cuadro 9. Análisis de varianza (ANOVA).	48
Cuadro 10. Composición nutricional del compost Vs. NTC 5167.	49
Cuadro 11. Costo por kg de compost producido.	54
Cuadro 12. Peso seco parte radicular, aérea y relación R: A.	55
Cuadro 13. Promedios de las variables peso seco radicular y aéreo de plantas de café según prueba de promedios de Tukey.	56

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro en campo de temperatura en el proceso de compostaje.	78
Anexo B. Registro en campo de humedad en el proceso de compostaje.	78
Anexo C. Registro en campo de pH en el proceso de compostaje.	79
Anexo D. Análisis fisicoquímico de muestras de compost obtenido por tratamientos y repeticiones.	79
Anexo E. Datos peso seco radicular y aéreo de plantas de café de tres meses en fase de almácigo.	80
Anexo F. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para nitrógeno.	80
Anexo G. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para fosforo.	81
Anexo H. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para potasio.	81
Anexo I. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para calcio.	82
Anexo J. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para magnesio.	82
Anexo K. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para carbono orgánico oxidable.	83
Anexo L. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para pH.	83
Anexo M. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para conductividad eléctrica.	84
Anexo N. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para peso seco radicular.	84
Anexo O. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para peso seco aéreo.	85
Anexo P. Análisis de suelo lote N° 3.	85
Anexo Q. Costos de producción de compost por tratamientos.	86
Anexo R. Registro de precipitaciones durante los meses agosto, septiembre y octubre.	86

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales cultivos en Colombia cuya producción anual en el año 2022 fue de 11,4 millones de sacos de 60 kg de café verde frente a los 12,4 millones de sacos puestos en mercados internacionales en el año 2021 (FNC, 2022). De esta manera diferentes estudios demuestran que la producción de pulpa de café es de 2,25 ton/ha/año lo que equivale a aproximadamente 2 millones de toneladas en total a nivel nacional (Rodríguez, 2007; Cerquera, 2022). Es así como en las zonas cafeteras del país se generan subproductos que con manejos inadecuados resultan siendo altamente contaminantes para fuentes hídricas y suelos y que ocasionan problemas ambientales con repercusiones sociales. Con el objetivo de mitigar estos impactos negativos, algunos productores han optado por alternativas como el compostaje de subproductos de cosecha (pulpa de café) buscando también contribuir en otros aspectos como la disminución de costos de producción asociada al alza reciente de precios en los insumos requeridos para el cultivo, ya que el manejo inadecuado de estos subproductos puede traer consigo problemas biológicos, ambientales, fitosanitarios y contaminación cruzada (Vásquez *et al.*, 2010; Imbacuan & Valencia, 2021).

El enriquecimiento del compost se puede lograr mediante la incorporación de diferentes subproductos agrícolas y pecuarios presentes en la finca como la gallinaza, cuya composición nutricional aumenta la calidad del producto obtenido y mejora la capacidad de retención de agua en el suelo (Vargas & Pérez, 2018; Villanueva, 2018). En la búsqueda de brindar al proceso de compostaje alternativas que permitan mejorar su calidad y que sean accesibles para el productor, se ha incluido la incorporación de ME que traen consigo múltiples beneficios como la disminución del tiempo de descomposición, ya que mediante sus procesos metabólicos permiten la degradación rápida de los componentes que hacen parte del compost, y el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del producto final que al ser reincorporado al suelo también contribuye con el enriquecimiento de nutrientes y el equilibrio microbiológico de este (Meléndrez & Sánchez, 2019).

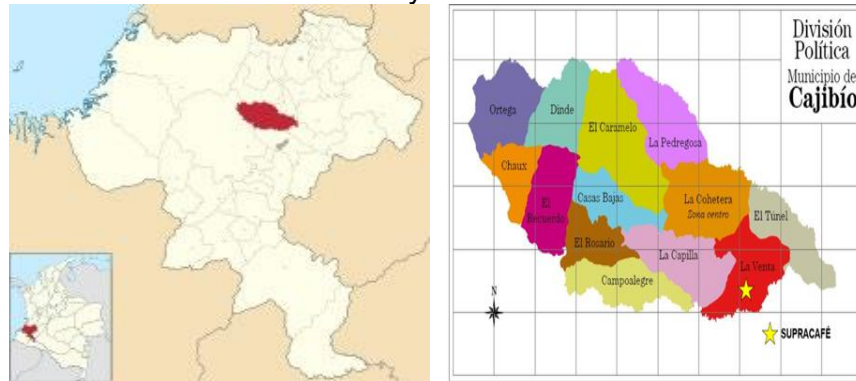
El propósito del presente estudio fue evaluar alternativas mediante el uso de ME durante el proceso de compostaje de pulpa de café, validando la calidad del compost, su adecuado manejo y utilización en plántulas de café. Para ello se planteó evaluar el efecto de ME sobre el compostaje de pulpa de café y gallinaza, cuantificar el tiempo de descomposición de subproductos agropecuarios (pulpa de café y gallinaza) mediante la incorporación de ME y determinar la composición nutricional del material inicial sin compostar y del material final mediante un análisis fisicoquímico.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 LOCALIZACIÓN.

La etapa experimental se llevó a cabo en las instalaciones de SUPRACAFÉ localizado en las coordenadas 2°35'13.3"N 76°33'04.8"W a 13 kilómetros de Popayán, en el sector de La Venta-Cajibío (figura 1), a 1793 msnm, con una temperatura que varía entre 14-24°C y con precipitaciones promedio anuales de 2230 mm (Tecnicafé, 2023).

Figura 1. Localización del sitio de ensayo.



1.2 MARCO TEÓRICO.

1.2.1 Caficultura a nivel mundial. Uno de los productos agrícolas de mayor importancia económica a nivel mundial es el café, puesto que genera ingresos anuales mayores a USD \$15 mil millones para los países exportadores, además brinda una fuente de trabajo a más de 20 millones de personas en el mundo (CATIE, 2021). Envíos totales de todas las formas de café durante el año cafetero 2020/21 ascendieron a 129,03 millones de sacos, un aumento del 1,3% en comparación con los 127,36 millones de sacos durante el año cafetero 2019/20 (ICO, 2021).

1.2.2 Caficultura en Colombia. La producción anual que presentó el país en el año 2022 fue de 11,4 millones de sacos de 60 kg de café verde frente a los 12,4 millones de sacos puestos en mercados internacionales en el año 2021, lo que equivale a 12% menos que los producidos en el año anterior (FNC, 2022). Por el lado de las exportaciones de café entre el año 2009-2019 crecieron un 82,2%. Cerca del 92% de la producción nacional se destina al mercado internacional y solamente

el 8% va al consumo interno. Estados Unidos es el principal país de destino de las exportaciones con una participación de 43,7%. Por otra parte, las importaciones han crecido en un 34,2% en los últimos 10 años. Solo en 2018 se multiplicaron por 2,6 veces con respecto a 2017. En ese año, los mayores volúmenes se importaron de Perú (37%), Honduras (27%) y Brasil (26%), mientras que en 2019 el 63,5% de las importaciones provinieron de Brasil (MADR, 2021).

1.2.3 Generalidades del café. El café, es un arbusto perteneciente a la familia de las Rubiáceas, se encuentra constituido por 500 géneros y más de 6000 especies. En cuanto a su botánica, esta planta presenta hojas brillantes y alargadas, y sus flores son parecidas al jazmín, de color blanco (Ruiz, 2017). La floración es un indicador de la producción y la forma como se distribuye la cosecha a lo largo del año; el desarrollo de las flores se ve determinado principalmente por las condiciones ambientales de cada región, es un proceso que generalmente inicia 4 a 5 meses antes de que se presente la antesis, el fruto también denominado cereza es globular, tiene peciolo corto, presenta longitud de 10-15 mm y diámetro de 11,5-14,5 mm; el desarrollo del fruto puede durar entre 180-330 días dependiendo de la variedad y condiciones ambientales (Peñuela *et al.*, 2013).

1.2.4 Subproductos del beneficio del café. El café es uno de los sectores de mayor importancia económica a pesar de que después de su proceso de beneficio generalmente solo se ve aprovechado un 5% y el 95% restante es generado en residuos que si no tienen una correcta disposición final incurren en problemáticas como la contaminación ambiental (Serna *et al.*, 2018). Los subproductos que se generan en el proceso de beneficio son mucílago, cisco, borra, ripios, café deteriorado y la pulpa que es el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto dentro del proceso de despulpado. Según datos reportados por Cenicafé esta representa alrededor de 43,58% en base húmeda del peso del fruto fresco, y además su promedio de producción es de 2,5 ton/ha/año, siendo uno de los residuos que mayor contaminación podría generar si no se realiza una adecuada disposición (Restrepo & Villa, 2020).

1.2.4.1 Características de la pulpa de café. La pulpa de café es también denominada mesocarpio y se ubica debajo del pericarpio, su textura es fibrosa, presenta coloración amarillenta y su sabor es dulce. Se obtiene mediante el beneficio húmedo del fruto de café, se considera el principal subproducto de dicho proceso, considerando que por cada kilogramo de cereza se obtienen 430 gramos de pulpa aproximadamente (Martínez *et al.*, 2019). Según Avilés, 2018 la pulpa de café cuenta con buena composición nutricional (cuadro 1) lo que hace de ella un subproducto con grandes cualidades para ser aprovechado en procesos como por ejemplo el compostaje.

Cuadro 1. Contenido nutricional de la pulpa de café, adaptado de Avilés, 2018.

ELEMENTO	RANGO DE CONCENTRACIÓN
Nitrógeno	1,6 - 3 %
Fósforo	0,17 - 0,19 %
Potasio	2,60 - 3,37 %
Calcio	1,2 - 2,1 %
Magnesio	0,24 - 0,31 %
Hierro	16,00 - 47,86 ppm
Manganeso	72,80 - 112,4 ppm
Zinc	32,20 - 40,50 ppm
Cobre	23,00 ppm
Relación C/N	16 a 20

1.2.5 Alternativas complementarias. Dentro del sector agropecuario se generan diferentes subproductos que en conjunto pueden representar importantes alternativas para la nutrición de los cultivos y de igual forma para poder equilibrar mezclas cuando dichos residuos se someten a proceso de descomposición, como es el caso del compost.

1.2.5.1 Gallinaza. Este subproducto pecuario representa la principal fuente de nitrógeno en la fabricación de abonos orgánicos, dentro de sus principales aportes y beneficios se encuentra mejorar las características de fertilidad del suelo con nutrientes entre los principales fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, dado lo anterior su aporte nutricional contribuye además en la mejora de condiciones físicas del suelo que lo caracterizan por ser un abono orgánico de alta calidad (Díaz *et al.*, 2015) como se muestra en el cuadro 2.

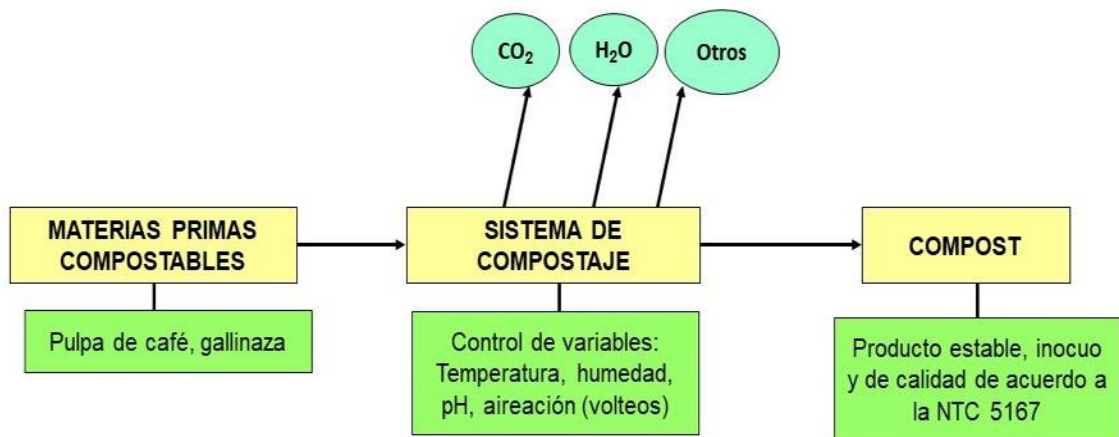
Cuadro 2. Contenido nutricional de la gallinaza según diferentes autores.

Autores	N %	P %	K %	Ca	Mg	Na %	pH	Humedad %	Relac C/N
Demera, 2019	4,00	2,60	2,30	9,50 %	0,80 %	0,30	7,9	-	-
Cantarero y Martínez, 2002	1,62	2,15	0,24	0,45 ppm	0,25 ppm	-	-	-	3,2
Estrada, 2005	2,02	3,60	0,89	-	-	-	8	34,8	12,1
Sanchez, 2018	3,00	1,14	2,73	-	-	0,13	7,52	19,9	12,6

1.2.6 Compostaje. El compostaje es una de las formas de controlar el uso definitivo de residuos y de subproductos que se generan en los diferentes procesos de producción agropecuaria; su objetivo principal es transformar dichos residuos en materiales biológicamente estables mediante un proceso de descomposición hasta la obtención del producto final, en este caso compost, que actuará de diferentes maneras ejerciendo grandes ventajas dentro de los sistemas productivos. Como ejemplo se mencionan la mejora de condiciones físicas de los suelos degradados, aumento en la fertilidad de los mismos y a nivel general la contribución con el medio ambiente por la disminución de productos que pueden resultar tóxicos, y por el aprovechamiento mismo de recursos que evitan la contaminación de fuentes hídricas, suelos, biodiversidad y ecosistemas (Bailón & Florida, 2021).

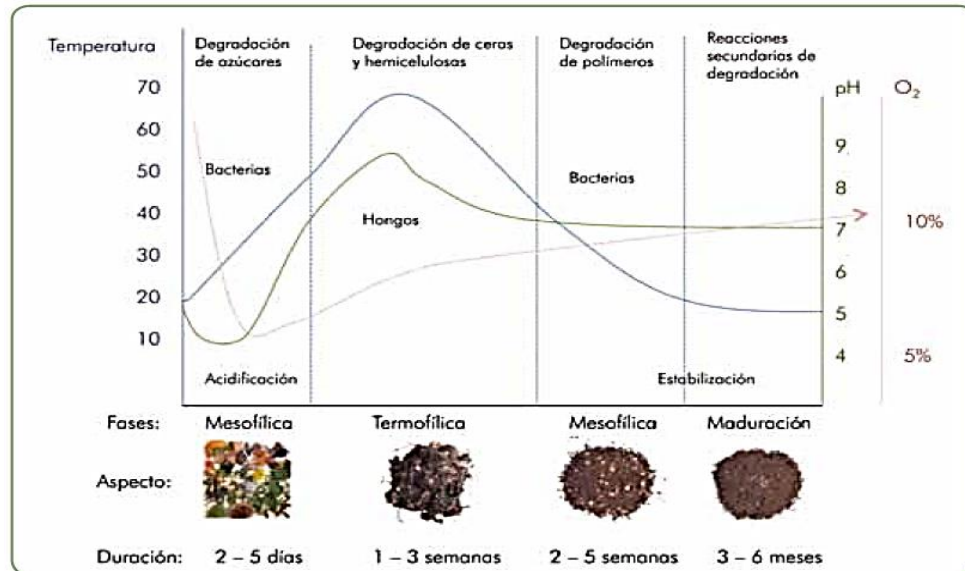
Como se muestra en la figura 2, el proceso de compostaje resulta de la interacción entre restos orgánicos, microorganismos, aireación y producción de calor, cuya influencia es de vital importancia en la eficiencia del proceso y en la intervención que se deba realizar para controlar las variables que puedan afectarlo. Los elementos claves del proceso son diversas poblaciones microbianas constituidas por bacterias, hongos y actinomicetos los cuales cumplen el papel de degradar la materia orgánica en presencia de oxígeno liberando gases, agua y calor resultado del metabolismo microbiano y generando un producto estable (Moreno & Moral, 2008). Es decir que el compostaje inicia su funcionamiento cuando se agregan las materias primas y así los microorganismos procesan subproductos según su actividad; al final del proceso se logra una serie de compuestos que pueden ser utilizados en diversas actividades del sector agrícola por organismos más complejos como las plantas (Sherman, 1999).

Figura 2. Dinámica del proceso de compostaje.



1.2.6.1 Fases del compostaje. Como se evidencia en la figura 3, las etapas que comprende el proceso de compostaje se definen por variaciones de temperatura, y se clasifican en tres etapas más la maduración del producto (Román *et al.*, 2013).

Figura 3. Fases del compostaje de acuerdo con la evolución de temperatura.



Fuente: FAO, 2013

Fase mesófila: es la fase inicial del proceso, se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos (Valderrama, 2013). En un principio el rango de temperatura se encuentra en valores medioambientales, puede durar entre dos y ocho días y se caracteriza por aumentos considerables de temperatura hasta de 45°C por la acción microbiana y disminución de pH hasta cerca de 4 o 4,5 debido a que se presenta descomposición de compuestos solubles como azúcares y la producción de ácidos orgánicos (Bohórquez, 2019). Además, se presenta liberación de CO₂ y H₂O lo que provoca la reducción del contenido de carbono aumentando el porcentaje de la fracción mineral (Román *et al.*, 2013).

Fase termófila: una vez el material alcanza temperaturas mayores a 45°C se reemplazan los microorganismos mesófilos por aquellos cuya condición natural de crecimiento es a mayores temperaturas y que actúan en la degradación de fuentes de carbono más complejas como celulosa y lignina. El nitrógeno se convierte en amoníaco por acción de los microorganismos lo que ocasiona el aumento de pH, y una vez que la temperatura llega a 60°C comienzan a actuar algunas bacterias que producen esporas y actinobacterias las cuales continúan en la descomposición de derivados de carbono complejos, ceras y

hemicelulosas. Esta es una fase que puede durar desde unos días hasta meses considerando diversos parámetros medioambientales y del material de partida y se alcanzan temperaturas de hasta 70°C. Esta etapa se califica también como de higienización pues las altas temperaturas permiten la destrucción de bacterias contaminantes como *Escherichia coli* y *Salmonella spp* (Bohórquez, 2019; Román *et al.*, 2013).

Fase de enfriamiento: en este momento se agotan las fuentes de Carbono y Nitrógeno en el material y se presenta un descenso de temperatura entre 40-45 °C; la desintegración de polímeros como la celulosa continua y al producirse el descenso de temperatura se puede presentar la aparición de hongos notorios; de igual forma los microorganismos mesófilos dan inicio nuevamente a su actividad produciéndose un descenso de pH a veces poco apreciable. Es una etapa que puede durar varias semanas (Imbacuan & Valencia, 2021).

Maduración: es una etapa que dura algunos meses con temperatura ambiente y exhibe reacciones para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. Es un período de fermentación lenta en la cual la parte menos biodegradable de la materia orgánica se va descomponiendo, la temperatura va disminuyendo lentamente al igual que la actividad de las bacterias, y se produce la colonización del compost por organismos y microorganismos que contribuyen a la descomposición de las partes menos biodegradables del producto o residuo (Román *et al.*, 2013). Se puede percibir el olor característico a tierra orgánica fresca debido a que se eleva la cantidad de actinomicetos (Canet, 2007).

1.2.6.2 Factores que influyen en el proceso de compostaje. En el proceso de transformación aerobia de materiales orgánicos influyen agentes microbianos como bacterias y hongos y por ende también otros factores químicos, físicos, biológicos y ambientales que se encuentran directamente relacionados con el metabolismo de los microorganismos involucrados (Bohórquez, 2019).

Temperatura: la fase inicial del proceso inicia con temperatura ambiente, puede llegar hasta 65°C para finalmente estabilizarse en los rangos de temperatura ambiental cuando completa la fase de maduración (Román *et al.*, 2013). En rangos de temperaturas muy altas muchos microorganismos benéficos pueden morir o pueden dejar de actuar (Cajahuanca, 2016).

pH: es un factor que puede variar dependiendo del material con que se trabaje y también de la fase en la que se encuentre el proceso. En la primera fase es normal que se presente acidez debido a la formación de ácidos orgánicos,

seguidamente en la fase termófila se puede alcalinizar porque se efectúa la conversión de amonio en amoniaco y una vez finalizado el proceso se presentan valores muy cercanos al neutro (Román *et al.*, 2013).

Tamaño de partícula: se considera importante mencionar que partículas muy pequeñas favorecen la compactación del material empleado y también la descomposición anaerobia (Morán y Naranjo, 2013). Siendo este uno de los parámetros que se encuentra relacionado con la densidad del material, aireación de la pila y la actividad microbiana lo que define la facilidad de acceder al sustrato, el tamaño ideal al momento de iniciar debe estar entre 1-5 cm (Román *et al.*, 2013; Borja, 2018). Este es un factor de vital importancia puesto que la actividad microbiana se lleva a cabo en la superficie de las partículas, pero este no debe ser ni muy grueso ni muy fino, dado que si es muy fino se pueden presentar riesgos de compactación y por tanto afecta la aireación del proceso y en caso contrario, si la partícula es muy grande la fermentación aeróbica se llevaría a cabo solo en la superficie de estas (Acosta & Peralta, 2015). El tamaño de partícula es determinante para mantener un óptimo balance en el mantenimiento de una adecuada porosidad, indispensable para mantener buena aireación en el material (Campitelli *et al.*, 2014).

Humedad: igualmente es un parámetro estrechamente relacionado con los microorganismos puesto que utilizan el agua como medio para transportar los nutrientes y elementos energéticos mediante la membrana celular, y su nivel óptimo se sitúa en 55% (Román *et al.*, 2013). Cabe resaltar que al presentarse rangos elevados de humedad el agua pasará a ocupar todos los poros convirtiéndose en un proceso anaeróbico provocando putrefacción de la materia orgánica y en caso contrario si se presentan contenidos de humedad muy bajos la acción de los microorganismos es más lenta, tornando el proceso más largo (Cajahuanca, 2016).

Oxígeno: por ser un proceso aeróbico se debe mantener adecuada aireación que permita la respiración de los microorganismos, de igual manera prevenir que el material se compacte o se encharque, por lo que el nivel óptimo de oxígeno se encuentra en 10% (Román *et al.*, 2013). Por otra parte, la aireación es empleada por los hongos y las bacterias para poder desarrollarse y ejecutar sus funciones y también para que se presente la liberación de anhídrido carbónico (Naranjo, 2013).

Relación C/N: los dos componentes básicos de la materia orgánica son el carbono y el nitrógeno, y por esta razón debe existir una relación equilibrada de estos dos elementos para que se obtenga un buen compost. A pesar de que

varía dependiendo de los componentes que integrarán el material y su duración, se considera óptima una relación inicial de 25-35:1, en el caso de la pulpa de café se considera un rango óptimo de 16-20:1 y en gallinaza de 12,6 (Galindo, 2018). Si los valores son menores al rango óptimo se produce pérdida de nitrógeno en forma de amonio y en caso contrario el proceso se prolonga viéndose en la necesidad de adicionarlo (Borja, 2018).

1.2.6.3 Calidad del compost. Un compost bien elaborado cuenta con características en las cuales el Carbono y Nitrógeno se encuentren en equilibrio nutricional (Mendoza, 2009). Al finalizar sus fases de descomposición y después de un buen manejo se debe obtener un material de color marrón oscuro, que mejore las características físicas, químicas y biológicas del suelo, contribuyendo a disminuir el empleo de fertilizantes químicos sin que la capacidad de producción y rendimiento de los cultivos se afecte de forma significativa (Crespo *et al.*, 2018).

1.2.7 Norma Técnica Colombiana 5167. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos que serán usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas del suelo. Esta caracteriza algunos parámetros entre los que se encuentran: humedad, carbono orgánico oxidable y elementos mayores N, P, K estableciendo de esta manera límites y rangos óptimos ideales en un compost de buena calidad como se observa en el cuadro 3 (ICONTEC, 2011).

Cuadro 3. Calidad del compost según NTC 5167/2011.

INDICADOR	NTC 5167
Humedad	20-35%
Cenizas	Max. 60%
pH	4 a 9
MO	Min. 15%
N	>1%
P ₂ O ₅	>1%
Ca	>1%
Mg	>1%
K	>1%

Esta norma reglamenta los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros fisicoquímicos de los análisis de las muestras del material orgánico, límites máximos de metales pesados y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos (Puerta, 2004).

1.2.8 Microorganismos eficientes (ME). Son también llamados microorganismos efectivos, y son un cultivo mixto o grupo de microorganismos benéficos, dentro del cual se encuentran bacterias fotosintéticas y productoras de ácido láctico, levaduras, hongos fermentadores y actinomicetos. Estos cumplen diversas funciones y pueden ser aplicados en forma diversa. Por ejemplo, como inoculante para incrementar la diversidad microbiana de los suelos, disminuir el tiempo de descomposición de subproductos, obtener materiales enriquecidos con nutrientes, contribuir en la restauración del equilibrio microbiológico del suelo y a su vez aumentar la calidad y salud de los mismos, así como incrementar la productividad y rendimiento de los cultivos (Meléndrez & Sánchez, 2019). La interrelación ME -compost promueve la rápida degradación aerobia de los subproductos con los que se lleva a cabo el proceso, y disminuyen el tiempo de compostaje lo cual puede resultar beneficioso para el productor (García, 2018).

1.2.8.1 ME en compostaje. En la actualidad existen diferentes formas o alternativas estratégicas que permiten mejorar el aprovechamiento de residuos; entre estas se encuentra el uso de ME que intervienen en la degradación de materia orgánica, entre los cuales se encuentran microorganismos benéficos que pueden ser aeróbicos y anaeróbicos y que efectúan funciones distintas que aportan en la descomposición de componentes orgánicos (Meléndrez & Sánchez, 2019). El objetivo principal de la inoculación de ME en la compostera es reducir el tiempo de elaboración y obtención de abono orgánico que pueda ser aprovechado en diferentes procesos del sector agropecuario. Entre las ventajas de este proceso se destacan el aumento acelerado de temperatura, la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evita la descomposición de materia orgánica por oxidación y reduce malos olores, y además previene la presencia de insectos vectores dado que ya no contarán con las condiciones adecuadas para desarrollarse; adicionalmente la eficiencia de materia orgánica como fertilizante aumenta debido a que dentro del proceso de fermentación se efectúa la liberación y síntesis de sustancias como por ejemplo enzimas, aminoácidos, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que al ser empleados en la nutrición de los suelos conlleva también al mejoramiento de propiedades químicas, físicas y biológicas del mismo (Soriano, 2016). En general diversas investigaciones demuestran que la incorporación de ME en el proceso de compostaje estimula el crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo, constituyen un producto bioaumentado que ayuda a equilibrar el suministro de nutrientes y a reducir el costo de producción de los cultivos, se ha demostrado que la inoculación de ME con el compostaje contribuye en el aumento de la tasa de descomposición de la materia orgánica, reduce el tiempo de maduración del compost y contribuye a mejorar la calidad del producto que se obtiene (Wei *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2017).

1.2.8.2 Grupos representativos de ME. Los microorganismos eficientes agrupan gran diversidad microbiana, pero son cinco los grupos representativos, entre ellos se encuentran: bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos y hongos filamentosos con capacidad fermentativa (Morocho & Leiva, 2019).

Bacterias ácido lácticas: son microorganismos que se caracterizan por la producción de ácido láctico a partir de carbohidratos, esto es de gran importancia en los procesos de descomposición de materiales orgánicos ya que mediante la acción del ácido láctico permiten suprimir microorganismos patógenos y contribuir con la descomposición de materiales como lignina y celulosa (Inga, 2018). Además, cuentan con características que hacen de ellas exclusivas con particularidades que otras no podrían tener, ejemplo de ello es su capacidad de sobrevivir en diferentes rangos de pH pudiendo crecer en pH bajos como 3,2 a valores altos como 9,6 aunque la mayoría crece entre 4 y 4,5 (Morocho & Leiva, 2019).

Bacterias fotosintéticas: estas bacterias transforman las sustancias que generan olores desagradables como metano en ácidos orgánicos que no producen mal olor (Inga, 2018). Mediante su aplicación se logra el incremento de poblaciones de microorganismos en el suelo, se promueve el desarrollo de aquellos microorganismos benéficos y se logra una mayor abundancia de microflora del suelo (Mendoza, 2009).

Levaduras: son hongos unicelulares, de fácil manipulación y crecimiento rápido, entre los cuales *Saccharomyces cerevisiae* es considerada la levadura más importante para la humanidad tanto por su utilización como por su intenso estudio a nivel celular y molecular. Las levaduras contribuyen en la fermentación de la materia orgánica, cuentan con importante composición de vitaminas y aminoácidos, y cumplen importantes funciones en la producción de sustancias antimicrobiales requeridas por las plantas para su crecimiento a partir de los aminoácidos y azúcares que son secretados por las bacterias fototrópicas, materia orgánica y raíces de las plantas (Valdivieso, 2013; Inga, 2018).

Actinomicetos: son organismos filamentosos que guardan cierta similitud con los hongos, cumplen importantes funciones en procesos de compostaje y formación de los suelos (Vurukonda *et al.*, 2018). Así mismo, contribuyen en el control de patógenos y son agentes promotores de crecimiento de las plantas (Chaurasia *et al.*, 2018).

Hongos filamentosos con capacidad fermentativa: entre sus principales bondades se encuentran la contribución en procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo, son antagonistas de especies fitopatógenas y tienen capacidad de multiplicarse de forma rápida en diferentes condiciones (Yang *et al.*, 2017). Entre las especies representativas se encuentran *Aspergillus* y *Penicillium* que actúan descomponiendo de forma más rápida la materia orgánica (Condor *et al.*, 2007).

1.2.9 Aplicación de compost. La elaboración y aplicación de compost en particular es una forma estratégica de mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo porque proporciona la posibilidad de transformar los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola (Román *et al.*, 2013).

1.2.10 Almacigo. La fase de almacigo comprende desde el trasplante de la chapola en la bolsa hasta la siembra en campo, y dura unos seis meses, tiempo que se considera óptimo para que las plántulas se desarrollen y pueden ser llevadas al sitio definitivo donde crecerán y terminarán su ciclo de cultivo (Sadeghian, 2008).

1.2.10.1 Integración de compost en almácigos de café. La implementación de compost en almácigos ha demostrado importantes resultados en el desarrollo de las plantas. Estudios han corroborado el efecto positivo sobre el estado fitosanitario de las plantas lo que incide en la disminución de costos de producción (Camacho, 2019). La incorporación de compost en almácigos de café mejora hasta en 70% el crecimiento de las plantas (Rosenani *et al.*, 2016), así mismo investigaciones desarrolladas por CENICAFÉ demuestran que la incorporación de fuentes orgánicas contribuye con el incremento en el peso seco de las plantas (Ávila *et al.*, 2007). Al respecto, Posada & Osorio (2003) obtuvieron incrementos de hasta 150% y Camacho (2019), de más del 200% de peso seco.

En cuanto al desarrollo foliar, Camacho (2019) también determinó que aplicar compost en fase de almacigo de café aumentó el desarrollo entre 200 y 365% con respecto al testigo que no contaba con ninguna fuente orgánica, asociado con un aumento de la capacidad fotosintética que puede traducirse en mejoras en la productividad misma del cultivo. De esta manera se ha demostrado que la incorporación de compost en la elaboración de almácigos representa una alternativa confiable y que ha sido validada científicamente.

1.2.10.2 Establecimiento del almacigo. Para el establecimiento del almacigo se debe tener en cuenta que se haga en un terreno plano de fácil acceso para facilitar las labores del cultivo y el monitoreo constante, y que el lugar esté

protegido de agentes que puedan causar daños; el tamaño de la bolsa recomendado es de 17cm x 23cm con una capacidad aproximada de 2 kg de sustrato cuya proporción debe ser 3 partes de suelo por 1 de material orgánico (3:1) (Farfán *et al.*, 2015).

Varios estudios realizados en Cenicafé citados por Gaitán *et al.* (2013) en el Manual Cafetero Colombiano coinciden en afirmar que el uso de proporciones 3:1 de tierra y abonos orgánicos, entre ellos pulpa de café descompuesta, favorece el desarrollo de las plántulas en el almácigo, ya que la pulpa contribuye con buenas cantidades de nutrientes que aumentan el crecimiento y peso fresco de la planta.

1.2.10.3 Requerimientos nutricionales del almácigo de café. Las plantas de café en etapa de almácigo requieren de los 16 elementos nutricionales esenciales entre los que se encuentran los que obtiene del agua y del aire C, H, O₂, los elementos primarios (N, P, K), secundarios (Ca, Mg, S) y menores (Zn, Cu, B, Fe, Mn, Cl, Mo) que son extraídos del suelo mediante su sistema radicular y algunos absorbidos por el sistema foliar. También se considera que la nutrición de las plantas depende en gran medida de las características físicas, químicas y biológicas del sustrato en que se establece la chapola, por lo que se debe buscar el equilibrio para evitar deficiencias nutricionales consecuencia del bajo suministro o en su defecto exceso de nutrientes lo que puede llevar a producir quema de las plantas en crecimiento (Chaves, 2013).

1.3 MARCO HISTÓRICO.

1.3.1 Antecedentes. A continuación, se presentan algunos estudios realizados a nivel nacional e internacional en los cuales se utilizaron ME en la elaboración de compostaje de pulpa de café y el efecto del material obtenido en el cultivo.

1.3.1.1 Estudios a nivel internacional. Peceros (2020) en Satipo-Perú evaluó el efecto de diferentes dosis de compost de pulpa de café variedad Catuai en plántulas en etapa de almácigo, probando 5 dosis (0, 5, 10, 20 y 40%) y 3 repeticiones. La aplicación de 20% de compost mejoró la altura de planta, diámetro del tallo, área foliar, número de hojas y peso de los tallos y hojas; en la dosis del 40% los resultados no fueron favorables en diámetro del tallo, pero favoreció el peso de raíz y en cuanto a las demás variables no se reportaron resultados significativos, la dosis que mejores rendimientos mostró en plántulas de café fue de 24,6% de compost.

En la región de Monteverde, Costa Rica con el objetivo de desarrollar un sistema de biofertilización orgánica para almacigo de café ajustado a las condiciones y necesidades de los caficultores, se prepararon diferentes tipos de compost utilizando residuos biomásicos locales, microorganismos de montaña y lodos digeridos de biodigestor, además de evaluar parámetros de calidad en laboratorio y el efecto del compost en el desarrollo de almácigos de café. Los resultados mostraron que el sistema cumplió con los parámetros del proceso de compostaje, obteniendo un producto de óptima calidad con mayor concentración de nutrientes que mejoró el crecimiento del almacigo de café, pues el sistema de biofertilización produjo plántulas que lograron un desarrollo de más de un 200% de peso seco en comparación con las que no recibieron ningún tipo de fertilización, además mejoró el estado fitosanitario de las plantas y redujo costos de producción versus la fertilización convencional (Camacho, 2019).

En Huánuco, Perú se llevó a cabo un estudio con el objetivo de optimizar el manejo de residuos biomásicos locales de la central hidroeléctrica de Chaglla empleando la técnica de compostaje con la utilización de ME (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*); para ello se empleó como fuente de variación diferentes dosis de microorganismos (0, 5, 10 y 20 litros) realizando seguimiento de las variables temperatura, humedad y pH durante el proceso. Los resultados determinaron que la dosis de 20 litros permitió descomponer la mayor cantidad de residuos orgánicos y en general la incorporación de ME aceleró el proceso de compostaje, además de reducir malos olores, disminuir costos de producción y ser una alternativa eficiente al obtener un compost rico en micro y macronutrientes (Cajahuanca, 2016).

1.3.1.2 Estudios a nivel nacional. Dada la problemática por la generación de residuos emanados de restaurantes y hogares del municipio de Villavicencio y los consecuentes problemas de contaminación, se llevó a cabo la producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos mezclados con ME con el fin de evaluar su eficiencia. El estudio demostró que estos microorganismos aceleran la degradación de los residuos en función de los factores que influyen en su proceso, y que son una forma sencilla de obtener un material orgánico económico y accesible para el productor. Por otro lado, evidenciaron que el aserrín de madera tarda más tiempo en ser degradado por los microorganismos (Camacho y Rojas, 2016).

En el municipio de Yotoco, Valle del Cauca evaluaron alternativas para el compostaje de pulpa de café mezclada con otros residuos orgánicos (residuos domésticos, pollinaza y vástago de plátano) con la aplicación de un inóculo microbial compuesto por hongos y bacterias descomponedores; la evaluación se realizó durante 16 semanas, en las cuales se midieron las variables humedad, temperatura y pH. En los resultados los investigadores obtuvieron compost óptimo y definieron

que el vástago de plátano fue la opción más factible por ser junto con la pulpa de café residuos de fácil acceso en la región, y que su adecuado manejo permite generar impactos positivos ambientales y económicos (Imbacuan y Valencia, 2021).

En la subestación Experimental Santander de Cenicafé con el objeto de acelerar el proceso de compostaje de pulpa de café mediante la inoculación de microorganismos nativos se realizó su aislamiento para seleccionar los consorcios a ensayar en cuatro biopilas de 175 kg cada una más el tratamiento testigo. Se aplicaron concentrados bacterianos y se realizaron volteos a los 1, 10, 20 y 30 días, además la medición de variables (temperatura, humedad y pH) y evaluación de parámetros físico-químicos. Se determinó que el uso de microorganismos nativos de la pulpa de café disminuyó el tiempo de descomposición, que el abono orgánico obtenido logro la calidad sanitaria exigida por la NTC 5167, lo cual permite ser utilizado en el cultivo de café, reducir los costos de producción y conservar las zonas cafeteras del país (Vásquez *et al.*, 2010).

En Pitalito, Huila se llevó a cabo una investigación orientada al uso de microorganismos de montaña (MM) en el compostaje de pulpa de café, los cuales fueron activados en 200 litros de agua y aplicados a 2000 kg de pulpa, realizando un solo volteo 30 días después de suministrados los microorganismos. Los resultados indican que la incorporación de MM redujo el tiempo de descomposición a 45 días obteniendo un producto con mayor contenido de nutrientes, constituyéndose en una opción rentable para el productor y amigable con el ambiente al disminuir malos olores y promover la disposición controlada de grandes volúmenes de pulpa generados en fincas cafeteras de la localidad (Cuellar, 2022).

2. METODOLOGÍA

2.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

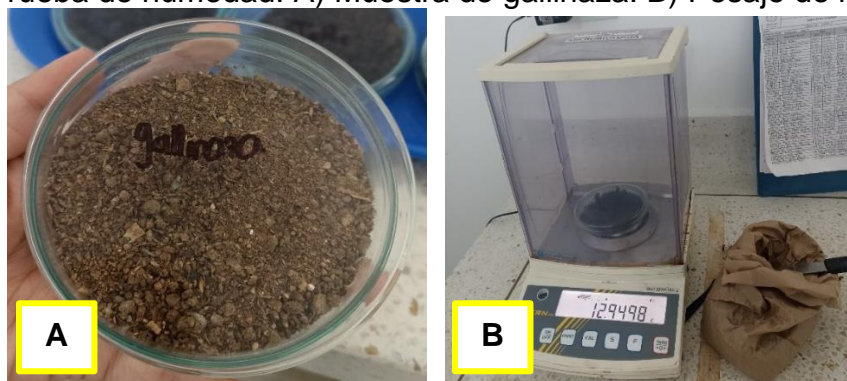
2.1.1 Localización. El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en la compostera de Supracafé ubicada en la vereda La Venta, municipio de Cajibío.

2.1.2 Determinación de parámetros físico-químicos de las materias primas. Inicialmente se recolectaron muestras de pulpa de café y gallinaza a utilizar en el proceso y se enviaron al laboratorio Multilab para su análisis físico químico; así mismo en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca se determinó el porcentaje de humedad mediante el método gravimétrico (diferencia de peso) siguiendo la metodología de Tortosa (2020) con el propósito de establecer las cantidades a emplear en el estudio. Para esta determinación se desarrollaron los siguientes pasos: 1) Recolección de muestras, 2) Disposición de las muestras en cajas de Petri, 3) Pesaje en balanza analítica (frescas), 4) Secado de muestras en horno a 60°C durante 72 horas, 5) Pesaje de muestras (secas), 6) Estimación de humedad por diferencia de peso (Ecuación 1) (figura 4).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Ec. 1

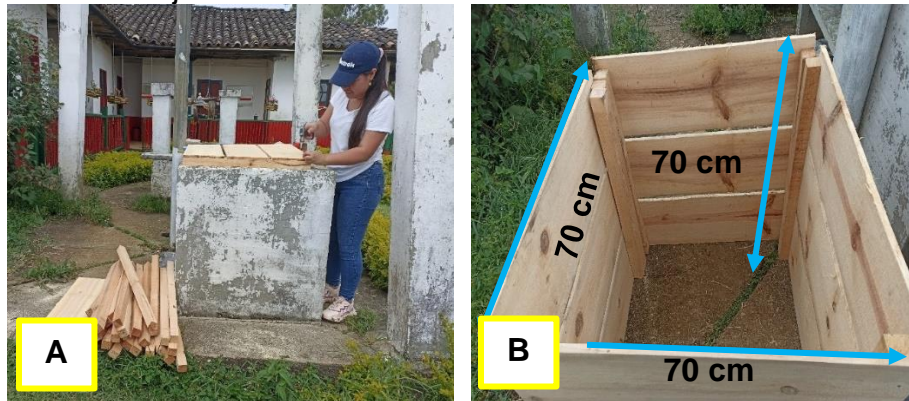
Figura 4. Prueba de humedad. A) Muestra de gallinaza. B) Pesaje de muestras.



2.1.3 Construcción de cajas composteras. Con ayuda de materiales como madera, puntillas, alambre y demás herramientas necesarias se realizó la

construcción de 12 cajas composteras de dimensiones 70 cm de ancho, 70 cm de largo y 70cm de alto (Figura 5), dejando espacios de 1 cm entre las tablas para la toma de datos a dos alturas de la pila (23cm y 46cm).

Figura 5. Construcción de las 12 cajas composteras. A) Elaboración de las cajas. B) Medidas de las cajas.



2.1.4 Obtención de ME. En la figura 6 se muestran los productos Aqua Clean y Degradex que corresponden a microorganismos comerciales obtenidos por donación de la compañía Blue Planet y en almacenes agropecuarios. El Degradex es un inoculante biológico elaborado a base de enzimas y microorganismos, que actúan degradando los compuestos orgánicos y las grasas. El Aqua Clean es un complejo bacteriológico de especies multifuncionales, además de ser una innovación tecnológica de cepas naturales de *Bacillus* heterotróficos, aerobios, anaerobios-facultativos y bacterias fotosintéticas o quimiosintéticas nitrificantes en solución acuosa, que le permite ser empleado en procesos de descomposición (Moreno & Zapata, 2020; Escalona, M. s.f.).

Figura 6. Microorganismos comerciales. A) Aqua Clean. B) Degradex.



2.1.4.1 Obtención de ME caseros. En la figura 7 se muestra el procedimiento para la obtención de los ME caseros, llevado a cabo tres etapas; 1) obtención y preparación de los materiales e insumos necesarios entre los que se encuentran vasos desechables, resortes, tela de media velada, melaza, arroz, cinta y marcador permanente para rotular los vasos; se coció el arroz sin sal, se dejó enfriar por aproximadamente 30 minutos, se llenaron 15 vasos con arroz hasta la mitad y se taparon con tela de media velada y resortes para evitar la pérdida de materia prima; 2) ubicación de los vasos en el bosque de la Facultad de Ciencias Agrarias donde se dejaron por 15 días; y 3) recolección de los vasos en los cuales se obtuvieron los ME caseros. Posteriormente, en una dilución de 1 kg de miel de purga con 4 litros de agua lluvia, se adicionó el arroz con los microorganismos mezclando uniformemente; después de 20 días se diluyeron de nuevo 250 g de miel de purga en 12 litros de agua lluvia, y se agregaron a la solución anterior mezclando y obteniendo un producto uniforme. Finalmente, se tomaron 10 ml de la mezcla y se adicionó agua hasta completar un litro de solución para ser utilizado en las composteras. Con el fin de mantener vivos los microorganismos se adicionó melaza semanalmente.

Figura 7. Obtención de ME caseros. A) Vasos con Arroz. B) Ubicación de vasos en el bosque. C) Preparación de la mezcla con melaza. D) Almacenamiento de ME caseros.



2.1.4.2 Identificación de microorganismos en los tratamientos. La composición de los tratamientos comerciales se obtuvo mediante la ficha técnica de los productos (Degradex y Aqua Clean) y para los microorganismos caseros se realizó una revisión bibliográfica con el fin de identificarlos por medio de los colores que se obtuvieron después de retirar del bosque.

2.1.5 Adecuación del lugar de trabajo. Se realizó el retiro del material vegetal, basura, escombros y otros elementos que impedían la realización del trabajo, además se niveló y adecuó el espacio para finalmente instalar las cajas composteras (Figura 8).

Figura 8. Adecuación del espacio de trabajo. A) Lugar de trabajo antes. B) Lugar de trabajo después.



2.1.5.1 Instalación y señalización. Esta actividad consistió específicamente en ubicar las cajas composteras en el sitio definitivo donde se llevó a cabo el trabajo y llenarlas con las materias primas que hicieron parte del proceso de compostaje; considerando el tamaño de las cajas, la eficiencia, facilidad de manejo y la humedad inicial de las materias primas se determinaron las cantidades iniciales así: 120 kg de pulpa de café y 60 kg de gallinaza, para un total de 180 kg de material por caja, distribuidos en cuatro capas cada una para facilitar la mezcla uniforme de todo el material. Una vez instaladas las cajas composteras con las materias primas para descomponer se procedió a la señalización con tablillas de madera marcando cada tratamiento y repetición con el fin de mantener un orden y optimizar la colecta de datos (Figura 9).

Figura 9. Ubicación y llenado de cajas composteras. A) Ubicación de las cajas. B) Llenado de cajas composteras con materias primas. C) y D) Señalización de los tratamientos.



De esta manera en el cuadro 4 se resumen las cantidades empleadas y la dosificación de microorganismos utilizada en el proceso.

Cuadro 4. Cantidad de materias primas empleadas en el proceso de compostaje por repetición.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD
Pulpa de café	120 kg
Gallinaza	60 kg
Microorganismos eficientes	15 ml/L de agua

2.1.6 Registro y toma de datos. Una vez realizado el montaje de las cajas composteras se asperjó con los ME correspondientes a cada tratamiento y se llevó a cabo la primera toma de datos (Figura 10) de la siguiente manera:

Temperatura: la toma de datos de temperatura se llevó a cabo con un termómetro digital, y se realizó cada dos días durante las primeras semanas, haciendo dos registros uno en la mañana y otro en la tarde a dos alturas de la pila; las siguientes semanas se realizó cada tres días y las ultimas semanas se realizó con menor frecuencia ya que los datos comenzaron a estabilizarse.

Humedad: se midió con un dispositivo digital, con la misma frecuencia en que se realizó la toma de temperatura e igualmente a dos alturas de la pila de compost.

pH: la medición del potencial de hidrogeniones se hizo con un dispositivo digital, a dos alturas de la pila de compost, su medición fue en la misma frecuencia de toma de datos de temperatura y humedad.

Figura 10. A) Dispositivos para toma de datos (Termómetro, medidor de humedad y pH). B) Toma de datos.



2.1.7 Volteos. Como se evidencia en la figura 11, se realizaron 6 volteos del compost, con una periodicidad de ocho días para mantener aireadas las pilas y evitar procesos anaerobios que producen pudrición del material y malos olores. La periodicidad de volteos se efectuó durante las primeras fases del compostaje y en cuanto las variables se estabilizaron no se realizaron más volteos.

Figura 11. A) y B). Volteos del material.



2.1.8 Aplicación de EM. La aplicación de ME se realizó al inicio del proceso cuando se llenaron las cajas composteras y después en cada volteo (cada ocho días), la dosis empleada fue cercana a la recomendada por los fabricantes (15 ml/L de agua lluvia no tratada). De esta manera se realizaron 7 aplicaciones para un total de 310 ml por repetición, en el caso del testigo la aplicación solo fue con agua en las mismas cantidades que en los demás tratamientos (Figura 12).

Figura 12. A) Medición de dosis de ME. B) Mezcla de ME en agua. C) y D) Aplicación de ME al compost.



2.1.9 Pesaje del producto final. Para pesar el producto final que se obtuvo después de los dos meses que duró el proceso de compostaje se utilizó una balanza digital de mayor capacidad, pesando el producto final de cada tratamiento y repetición (Figura 13).

Figura 13. Pesaje del material final. A) Pesaje de compost por tratamiento. B) Empaque del compost y señalización por tratamientos.



2.1.10 Toma de muestras y análisis de laboratorio. La toma de muestras se llevó a cabo después de 60 días cuando finalizó el proceso de compostaje, se tomaron muestras de 500 g de cada uno de los tratamientos y repeticiones, estas muestras se empacaron en bolsas, se sellaron herméticamente y se rotularon (Figura 14). Posteriormente fueron enviadas al laboratorio Multilab Agroanalítica en Chinchiná-Caldas, un mes después se obtuvieron los resultados del análisis fisicoquímico de cada uno de los tratamientos.

Figura 14. Toma de muestras de compost.



2.1.11 Implementación de almacigo de café. La evaluación de calidad del material después de dos meses se llevó a cabo mediante la validación del producto con los

diferentes tratamientos en un almácigo de café; para ello se realizó la adecuación del lugar en un espacio de 3 m de largo y 2 m de ancho (Figura 15), la ubicación del almácigo contó con las condiciones necesarias para el buen desarrollo de las plántulas (Figura 16).

Figura 15. Adecuación de lugar y establecimiento del almácigo. A) Limpieza y nivelación del lugar. B) Establecimiento de puntales.



Figura 16. C) y D). Implementación de polisombra y protección contra el daño por aves cercanas.



De esta manera a partir del material de cada caja compostera o repetición, se llenaron en proporción 1:1 (una parte de tierra por una de compost) 10 bolsas de almácigo de dimensiones 17 cm de ancho y 23 cm de altura (Figura 17), ya que como lo indica Salazar (1991) este tamaño permite buen crecimiento de las raíces y de las plantas durante el almácigo en comparación con plantas obtenidas en bolsas de menor tamaño. La tierra para la mezcla se obtuvo en la hacienda Supracafé teniendo en cuenta que presentara óptimas condiciones y que fuera de buena calidad para el desarrollo de las chapolas. La proporción empleada se determinó con el objetivo de usar menos suelo y más compost que el habitualmente empleado en etapa de almácigo (3:1).

Figura 17. A) Preparación del sustrato. B) Llenado de bolsas.



En cada bolsa se sembró una chapola variedad caturra (se encontraban en estado óptimo para ser trasplantadas) para un total de 120 chapolas en el almácigo. El orden en que se organizaron fue el mismo como se tenían ubicadas las cajas composteras (Figura 18).

Figura 18. Establecimiento de almácigo. A) Chapolas. B) y C) Siembra de chapolas. D) Instalación y siembra definitiva del almácigo.



2.1.11.1 Manejo fitosanitario. Debido a que la humedad ocasionó presencia de hongos en las plantas, un mes después de establecido el almácigo se aplicó con un atomizador un fungicida sistémico (Alto 100 líquido), por única vez, siguiendo la recomendación de Cenicafé en dosis de 1cc/L de agua (Gaitán *et al.*, 2013).

2.1.11.2 Variables evaluadas. El periodo de almácigo comprendió tres meses durante los cuales se pudo realizar la evaluación de calidad del compost, se evaluaron las variables peso seco aéreo y peso seco radicular, para lo cual se siguió la metodología empleada por Del Águila *et al.*, (2018), que consistió en seleccionar 5 plantas aleatoriamente por cada tratamiento y repetición, seguido de esto se realizó la separación de la planta del sustrato y se procedió a lavar para eliminar toda la tierra de la parte radicular. En laboratorio se efectuó el corte de la planta para separar la parte aérea y radicular, se dejó en el horno a 60°C durante 48 horas tiempo en el cual la planta perdió humedad para seguidamente obtener el peso seco de la parte aérea y radicular. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias (Figura 19). Con esto se pudo determinar la relación entre el peso seco aéreo y radicular (Ecuación 2) de la siguiente manera:

$$\text{Relación } \frac{PSR}{PSA} = \frac{\text{Peso Seco Radicular}}{\text{Peso Seco Aéreo}}$$

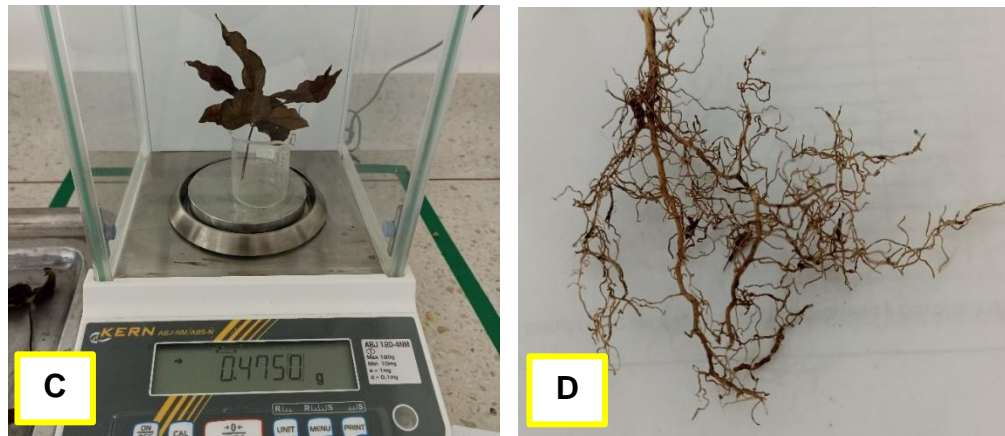
Ec. 2

PSR: Peso seco radicular.

PSA: Peso seco aéreo.

Figura 19. Determinación peso seco aéreo y radicular. A) Extracción de las plantas del sustrato. B) Planta completa. C) Pesaje de la planta seca. D) Parte radicular seca.





2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El diseño experimental empleado en este estudio fue bloques completamente al azar teniendo en cuenta cuatro tratamientos y tres repeticiones (Figura 20).

Figura 20. Distribución e identificación del diseño experimental.

T1	T2	T3	T4	R1	T1	Pulpa de café + gallinaza (sin aplicación de ME)
T4	T1	T2	T3	R2	T2	Pulpa de café + gallinaza + ME (Degradex)
T3	T4	T1	T2	R3	T3	Pulpa de café + gallinaza + ME (Aqua Clean ACF-32)
					T4	Pulpa de café + gallinaza + ME (Caseros)

Se empleo el análisis de varianza ANOVA ($P < 0,05$) para determinar diferencias significativas y la prueba de promedios de TUKEY para la comparación de las medias. En cuanto a las variables temperatura, humedad y pH se realizó un análisis descriptivo con el fin de explicar el efecto de los ME en la descomposición de la materia orgánica, considerando la variación de estos parámetros a lo largo de los dos meses que duró el proceso de compostaje.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Las materias primas que se emplearon en el proceso de compostaje fueron pulpa de café y gallinaza, la primera en mayores cantidades considerando el propósito principal de la investigación y la segunda por ser un material de fácil acceso para productores del sector agropecuario, además de su aporte nutricional y porcentajes bajos de humedad, lo cual permitió regular el alto contenido de este parámetro en la pulpa de café. Para dar inicio al proceso se realizó el análisis fisicoquímico de ambos materiales determinando su contenido nutricional, los resultados se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados del análisis fisicoquímico de pulpa de café y gallinaza.

Parametro		CE	Densidad	Retención	Humedad	Ceniza	N	CO		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
Unidad	pH	Ms.cm ⁻¹	g.cm ⁻³	%				C/N	%				mg.kg ⁻¹			
P ^I	4,28	12,96	1,08	44,71	83,44	29,27	2,53	24	9,49	0,15	3,94	0,39	0,08	92,60	31,60	3,5
G ^{II}	8,22	8,57	1,03	147,32	13,34	47,01	2,77	24,79	8,95	2,77	2,34	1,63	1,19	153,40	41,20	43,4

Nota. ^I Pulpa de café, ^{II} Gallinaza.

Los análisis iniciales de la pulpa y la gallinaza presentados en el cuadro 5, muestran que la pulpa presentó menores valores de pH, retención de agua, ceniza, N, P, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn, pero mayores valores de CE, humedad y K que la gallinaza. El porcentaje de humedad de ambos materiales se determinó también mediante el método gravimétrico (Ecuación 1), por medio del proceso de secado y pesaje de 10 muestras de cada materia prima en el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias obteniendo los resultados que se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Humedad en pulpa de café y gallinaza mediante método gravimétrico.

PROMEDIOS (10 muestras)			
Materia prima	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Humedad (%)
Pulpa de café	25,46	4,93	80,63
Gallinaza	11,85	10,22	13,76

Los resultados de humedad gravimétrica, para las dos estimaciones en pulpa de café fueron mayores al 80% y en gallinaza del 13% (cuadros 5 y 6), lo que según Mantilla (2019), se atribuye principalmente al beneficio húmedo, el cual

se realiza en las instalaciones de Supracafé. De igual manera según Estrada (2005) los niveles bajos de humedad en la gallinaza se deben a la procedencia del material y al proceso de secado que se efectúa en los lugares de producción. Dicha humedad fue un factor determinante en el cálculo de cantidades de materias primas a utilizar en el compostaje de pulpa de café, ya que al emplear la pulpa sola su alta humedad inicial podía afectar negativamente este proceso y provocar pudrición por anaerobiosis; por ello se adicionó gallinaza con el fin de equilibrar el contenido de humedad de la mezcla dentro de los rangos óptimos para los microorganismos eficientes.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES.

Los microorganismos comerciales (Degradex y Aqua Clean ACF- 32) empleados en los tratamientos 2 y 3 en el compostaje de pulpa de café se identificaron mediante la ficha técnica, como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Ficha técnica Aqua Clean ACF- 32 y Degradex.

PRODUCTO	COMPOSICIÓN CUALITATIVA	CONTEO
Aqua Clean ACF-32	Heterótrofos	
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0.5 x 10 ⁶ CFU/ml
	<i>Bacillus subtilis</i>	0.5 x 10 ⁶ CFU/ml
	Bacterias anaerobicas facultativas	
	<i>Bacillus licheniformis</i>	0.5 x 10 ⁶ CFU/ml
	Bacterias fotosintéticas	
	<i>Rhodopseudomonas palustris</i>	0.5 x 10 ⁶ CFU/ml
	Bacterias quimiosintéticas	
	<i>Nitrosomonas europea</i>	0.5 x 10 ⁶ CFU/ml
	<i>Nitrobacter winogradsk yi</i>	0.5 x 10 ⁶ CFU/ml
Degradex	Mesófilos	3,4 x 10 ⁵ UFC/g
	Termófilos	1,0 x 10 ¹ UFC/g
	Enterobacterias	2,1 x 10 ¹ UFC/g
	Proteolíticos	1,2 x 10 ² UFC/g
	Fijadores de nitrógeno	9,7 x 10 ⁴ UFC/g
	Solubilizadores de fósforo	7,8 x 10 ³ UFC/g

La revisión bibliográfica para la identificación de los ME caseros permitió observar por comparación los grupos descritos en el cuadro 8 donde se encuentra el tipo de microorganismo y el color que lo identifica según estudios realizados por diferentes autores (Zeballos, 2017; Morocho & Leiva, 2019; Hidrin *et al.*, 2001; Toalombo, 2012; Condori, 2020).

Cuadro 8. Identificación de ME caseros por su color, de acuerdo con revisión bibliográfica.

GRUPO MICROBIANO EM	COLOR	MICROORGANISMO
Bacterias ácido lácticas	Blanco-amarillento, crema	<i>Lactobacillus</i>
	Crema o blanco, beige	<i>Bifidobacterium</i>
	Blanco	<i>Lactococcus</i>
	Blanco-grisáceo	<i>Pediococcus</i>
Bacterias fotosintéticas	Purpura, morado	<i>Rhodopseudomonas palustris</i>
	Purpuras, rojas	<i>Rhodobacter sphaeroides</i>
Levaduras	Amarillo oscuro, crema a marrón intenso	<i>Saccharomyces</i>
	Marfil a violeta, Rosado-purpura	<i>Candida utilis</i>
Actinomicetes	Blanco, blanco grisáceo	<i>Streptomyces albus</i>
	Grisés, amarillo grisáceo	<i>Streptomyces griseus</i>
Hongos fermentadores	Café oscuro a marrón oscuro, verde-amarillento, blanco amarillento a negro	<i>Aspergillus</i>
	Blanco, azul, azul verdoso, verde, gris oliva o tonos rosados, con reverso amarillo cremoso	<i>Penicillium sp</i>
	Blanco, verde oscuro o amarillento	<i>Trichoderma sp</i>
	Marrón rojizo, amarillento, blancos, esporangios negros	<i>Mucor hiemalis</i>

En la figura 21, se muestra el resultado obtenido mediante la cosecha de microorganismos, donde prevalecen los colores blancos, diversas gamas de amarillo y verde, los cuales pueden ser identificados por su color. Como lo indica Dominguez (2019), estos tres colores son representativos de microorganismos antagónicos (*Bacillus subtilis*, *Glomus mosseae* y *Trichoderma spp.* respectivamente). Cabe aclarar que la identificación de los microorganismos mediante el color se realizó a través de revisión bibliográfica es decir resultados

obtenidos por otros autores en investigaciones enfocadas en el estudio de microorganismos, ya que estos son muy difíciles de identificar sin realizar las respectivas pruebas en laboratorio.

Figura 21. Identificación de ME caseros.

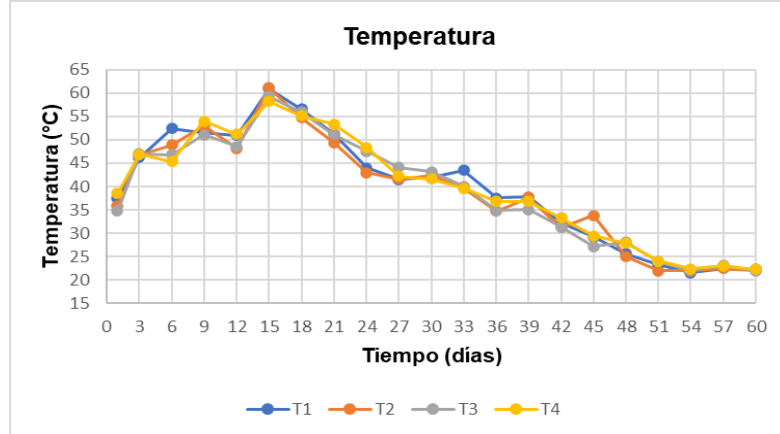


3.3 ANÁLISIS CUALITATIVO DE VARIABLES TEMPERATURA, HUMEDAD Y pH.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en el seguimiento realizado a las variables temperatura, humedad y pH durante los dos meses que duró el proceso de compostaje. En las dos últimas semanas del proceso los datos fueron constantes indicando la estabilización del material similar a lo reportado en la investigación de Imbacuan y Valencia (2021).

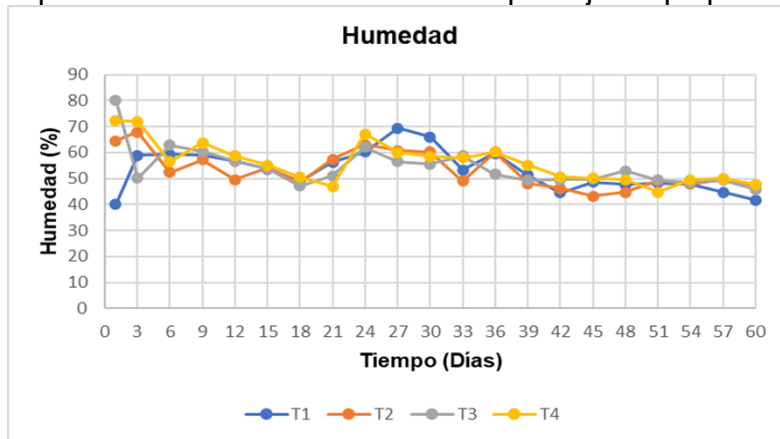
En la figura 22, se puede observar que los cuatro tratamientos lograron cumplir con lo establecido en cada una de las fases que hacen parte del proceso de compostaje, iniciando con temperaturas entre 34 y 38 °C debido a que el primer registro de datos se efectuó al día siguiente de iniciado el proceso. Entre los días 12 y 15 se presentó un aumento progresivo de temperatura cumpliendo de esta manera con el pico que caracteriza la fase termófila, lo que se atribuye a la actividad aeróbica microbiana que produce reacciones exotérmicas debido a la aireación provocada mediante los volteos (Haug, 1993). A partir del día 18 la temperatura comenzó a descender, pero se mantuvo en temperaturas mayores a 45°C durante 9 días contribuyendo en procesos de higienización que ayudaron a eliminar patógenos del material como lo menciona Román *et al.*, (2013). En los tratamientos 1 y 3 se estabilizó entre los días 27 y 33 en temperaturas cercanas a 40°C y en los tratamientos 2 y 4 entre los días 27 y 30 en rangos cercanos a 40°C, y comenzó a descender hasta llegar a temperatura ambiente desde el día 51 hasta finalizado el proceso en el día 60.

Figura 22. Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje.



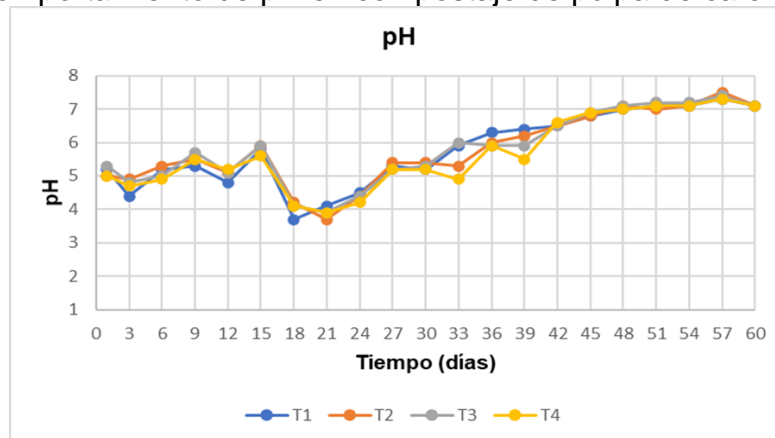
En la figura 23 se observa el comportamiento de la humedad durante el proceso de compostaje. Inicialmente se evidenciaron valores elevados en T2, T3 y T4, situándose en rangos del 64 y 80%, esto se atribuye a que la humedad de la pulpa ocasionó la saturación de materia orgánica donde todos los espacios vacíos fueron ocupados por el agua (Silva *et al.*, 2009), así como también se debe a la influencia de factores climáticos, al origen y humedad de las materias primas empleadas y a las condiciones del compostaje (Huerta *et al.*, 2008). A partir del día 39 hasta el 60 los rangos de humedad se estabilizaron entre 40 y 50% en todos los tratamientos rangos superiores a los recomendados (30 – 40%) por Román *et al.*, 2013. Sumado a ello Sánchez (1996) afirma que el contenido de humedad del compost varía según la temperatura ambiente, lo cual también pudo influir en el proceso, ya que durante el periodo que se realizó el ensayo según registros tomados por Tecnicafé la temperatura osciló entre 14 y 20°C, por lo que se pudo presentar una mayor humedad relativa.

Figura 23. Comportamiento de humedad en compostaje de pulpa de café con ME.



En la figura 24 se muestra que el pH inició con valores muy cercanos a 5, lo que se debió principalmente a que las primeras moléculas liberadas durante la degradación de la materia orgánica son ácidos orgánicos de bajo peso molecular como lo mencionan Imbacuan y Valencia (2021) en su estudio sobre el manejo de pulpa de café en procesos de compostaje y Martínez *et al.*, (2008) en una investigación similar sobre compostaje adicionalmente describen que la dinámica de pH muestra una tendencia a disminuir después de realizados los primeros volteos producto de una posible liberación de ácidos orgánicos. No obstante, el descenso más pronunciado de pH presentados entre los días 18 a 21 es consecuencia de posibles condiciones anaeróbicas que se presentaron en el proceso como lo menciona Sánchez (2001). Estos descensos en el pH coinciden también con Rivas y Silva (2020), quienes reportan en estudios para compost comercial con pergamino y pulpa de café valores de 4,83 inferiores a los que presenta la investigación. A medida que fue avanzando el proceso específicamente a partir del día 36 los valores fueron aumentando y a partir del día 48 tendieron a la neutralidad con valores muy cercanos a 7 hasta finalizar el proceso donde se estabilizó entre 7 y 7,2. Estos valores pueden estar influenciados por el tipo de iones aportados en los materiales que se compostan más que por las proporciones que se emplean (Pierre *et al.*, 2009) y se encuentran acordes a lo establecido por la NTC 5167 donde se establece un rango final entre 4-9, lo que indica que todos los tratamientos se encontraron dentro de las exigencias de la norma.

Figura 24. Comportamiento de pH en compostaje de pulpa de café con ME.



Además de las variables temperatura, humedad y pH también se tuvieron en cuenta parámetros físicos como color y olor del compost. Al finalizar el proceso el color fue marrón oscuro (figura 25) y el olor a tierra de bosque característicos del compost maduro, resultados similares a los encontrados en la presente investigación fueron hallados por González y López (2022), en su investigación

evaluación de eficiencia de residuos sólidos orgánicos domésticos en composteras circulares para su uso como abono orgánico.

Figura 25. A) Color inicial; B) Color final.



3.3 ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DEL COMPOST DE PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO ME.

El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a las variables químicas evaluadas nitrógeno, fosforo, potasio, magnesio, calcio, carbono orgánico oxidable, pH, conductividad eléctrica como se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de varianza (ANOVA).

Tratamientos/variables	ANOVA Pr > F
Nitrógeno (%)	0,7556
Fósforo (%)	0,4696
Potasio (%)	0,6951
Magnesio (%)	0,1631
Calcio (%)	0,1766
Carbono orgánico oxidable (%)	0,7933
pH	0,381
Conductividad eléctrica (mS.cm ⁻¹)	0,4844

Nota. Pr: probabilidad (0,05)

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. No obstante, los valores cumplen con lo establecido de acuerdo con la NTC 5167 en las variables nitrógeno, fósforo, potasio y carbono, pero no

cumple con los parámetros humedad en ninguno de los tratamientos y pH en los tratamientos 2, 3 y 4 como se muestra en el cuadro 10.

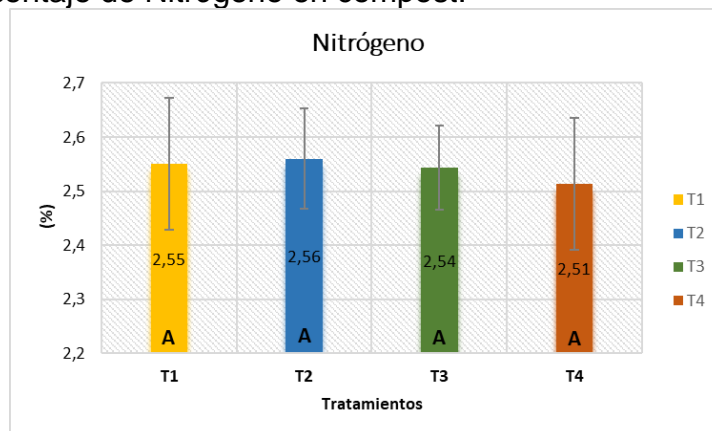
Cuadro 10. Composición nutricional del compost Vs. NTC 5167.

PARAMETRO	UNIDAD	T1	T2	T3	T4	NTC 5167
Humedad	%	34,38	36,08	38,23	38,97	Máximo 30
N	%	2,55	2,56	2,54	2,51	>1
CO	%	15,78	17,55	17,86	16,9	Mínimo 15
P	%	2,26	2,25	2,21	2,19	>1
K	%	4,28	4,42	4,24	4,41	>1
pH	Unidad	7,86	9,08	9,04	9,1	>4<9
Ca	%	1,87	1,78	1,98	2,09	NA
Mg	%	1,39	1,44	1,52	1,54	NA
Fe	mg. Kg ⁻¹	188,27	214,1	213,17	184	NA
Mn	mg. Kg ⁻¹	53,63	51,77	57,5	59	NA
Zn	mg. Kg ⁻¹	47,23	48,17	51,33	54,5	NA
Cu	mg. Kg ⁻¹	230,73	227,8	221,17	235,23	NA

NA: No aplica.

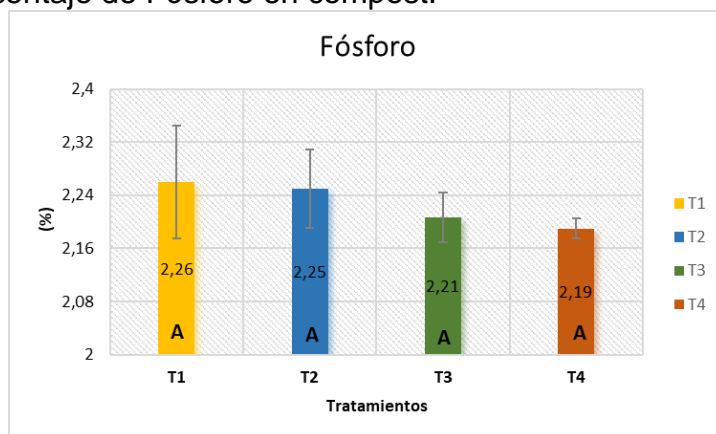
El porcentaje de nitrógeno para todos los tratamientos se encontró en el rango óptimo de acuerdo con la NTC 5167, los valores se concentraron entre 2,51 y 2,56% siendo similares en los cuatro tratamientos. El contenido de nitrógeno en esta investigación según Acosta y Peralta (2015) se atribuye a los materiales iniciales empleados en el proceso de compostaje, ya que la gallinaza contenía un nivel inicial alto de Nitrógeno que se pueden relacionar con los niveles de este elemento reportados en los cuatro tratamientos (Figura 26).

Figura 26. Porcentaje de Nitrógeno en compost.



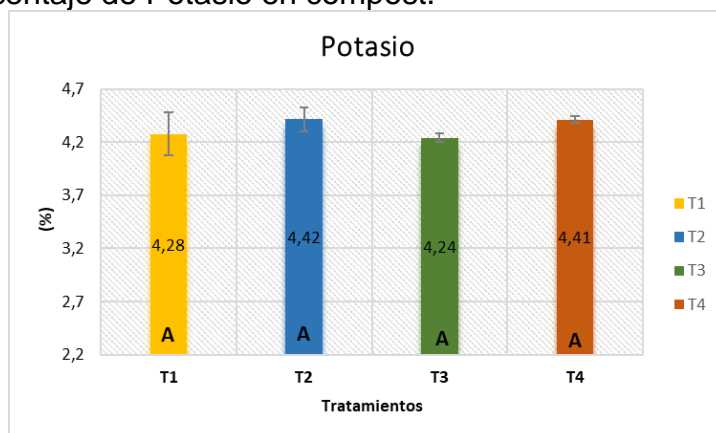
Los valores obtenidos para fósforo (2,19 – 2,26%) se encontraron por encima del estudio realizado por Muñoz *et al.*, (2015) quienes reportan valores de 1,29% en compostaje de fincas cafeteras. Estos valores se deben a que en la elaboración de abono orgánico se aumenta el contenido de fósforo por el aporte de este elemento en la gallinaza (Matheus, 2007). En todos los tratamientos se cumple con lo establecido por la NTC 5167 ya que superan el 1% que esta exige (Figura 27).

Figura 27. Porcentaje de Fósforo en compost.



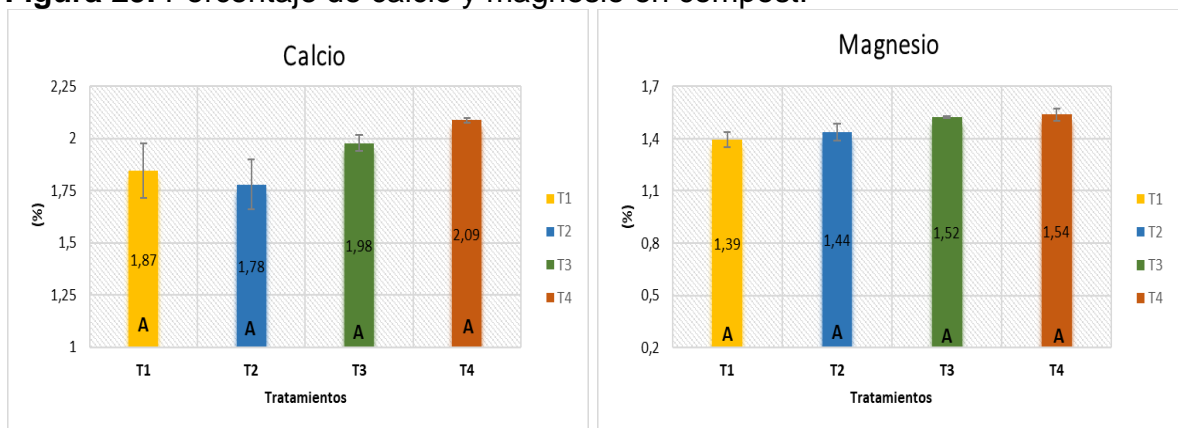
En la figura 28, se evidencia que el contenido de potasio obtenido en el compost cumplió con las exigencias de la NTC 5167 superando el 1%, estos resultados se atribuyen a que la pulpa de café constituye una importante fuente de potasio dando lugar a valores entre 4,24 y 4,42 en el compost de los cuatro tratamientos (Muñoz & Muñoz, 2012).

Figura 28. Porcentaje de Potasio en compost.



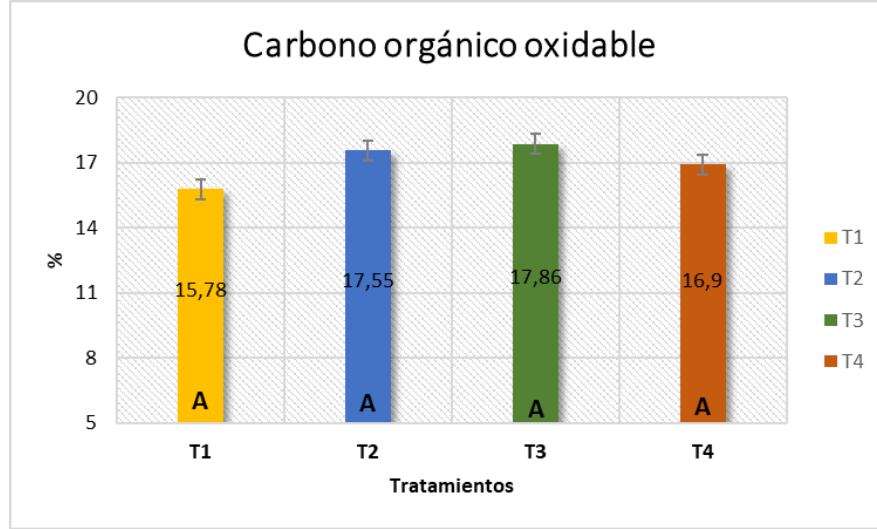
Tanto para Ca como Mg, a pesar de que entre tratamientos no hubo diferencias estadísticamente significativas, en la figura 22 se aprecia que los tratamientos 3 y 4 presentan mayores valores con respecto al testigo, lo cual se puede atribuir a una mayor acción microbiana, similar a lo descrito por Kaqui (2021), cuando comparó fuentes de microorganismos en la elaboración de compost a partir de residuos agrícolas. En otras investigaciones como la reportada por Soto y Muñoz (2002), ambos elementos son inferiores a los que se encontraron en esta investigación (0,91 y 0,19 respectivamente) y en el estudio realizado por Pierre *et al.*, (2009), los valores de calcio y magnesio superan a los reportados en el presente trabajo (Figura 29).

Figura 29. Porcentaje de calcio y magnesio en compost.



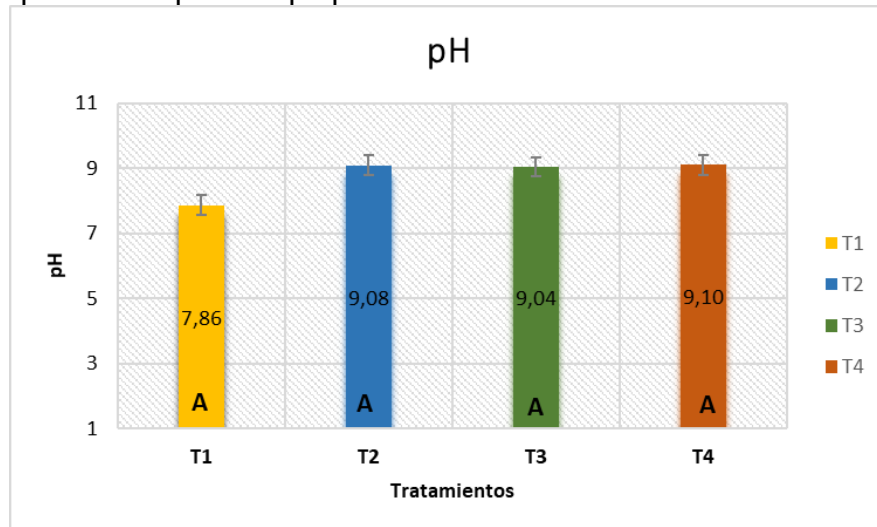
El contenido de carbono orgánico oxidable (CO) en el compostaje de pulpa de café utilizando ME se encontró por encima del mínimo que exige la NTC 5167 en todos los tratamientos. Esta variable es muy dependiente del material orgánico de partida (Tortosa, 2013). Acosta y Peralta (2015) reportan valores de carbono orgánico en procesos de compostaje entre 14,8 y 15,1, y de igual forma Vásquez *et al.*, (2010) reportaron valores superiores al mínimo establecido en el proceso de compostaje de residuos postcosecha de pulpa de café con aplicación de microorganismos nativos, obteniendo resultados de 23 y 27% en su estudio (Figura 30).

Figura 30. Carbono orgánico oxidable en compost.



Como se observa en la figura 31, los valores de pH en la mayoría de los tratamientos se encontraron por encima de 9 a excepción del T1 que se situó en un valor más cercano a la neutralidad, este aumento de pH se presentó en los tratamientos que contenían ME corroborando su acción positiva sobre el proceso de compostaje y la maduración del compost, ya que valores inferiores a 7 indican inadecuado ingreso de oxígeno al material lo que lleva a generar anaerobiosis y productos inmaduros (Acosta y Peralta, 2015). La estabilización del pH por encima de la neutralidad según Bueno *et al.*, (2008) se debe principalmente a la formación de compuestos húmicos.

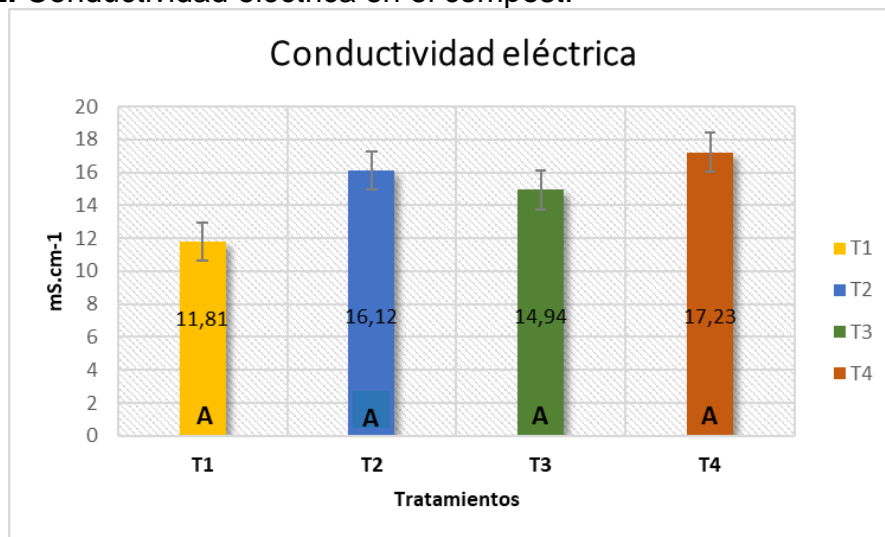
Figura 31. pH en compost de pulpa de café.



La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta del contenido de sales, y se encuentra asociada a la presencia de sodio, cloruro, potasio, nitrato, sulfato y sales de amonio, que en elevadas concentraciones pueden inhibir el crecimiento de las plantas; los resultados de la presente investigación son superiores a los óptimos de acuerdo con diferentes autores quienes reportan valores de 3 y 4 mS/cm (Koivula *et al.*, 2004; Gordillo, 2010).

La CE del compost está estrechamente relacionada con la naturaleza y composición del material inicial; en esta investigación se empleó pulpa de café y gallinaza, con valores de 12,96 y 8,57 mS/cm respectivamente, y en otros estudios realizados en compostaje con gallinaza se reportan valores de 14,18 mS/cm, resultado superior al obtenido en el T1, pero inferior en los tratamientos 2, 3 y 4 como se muestra en la figura 32 (Delgado *et al.*, 2019).

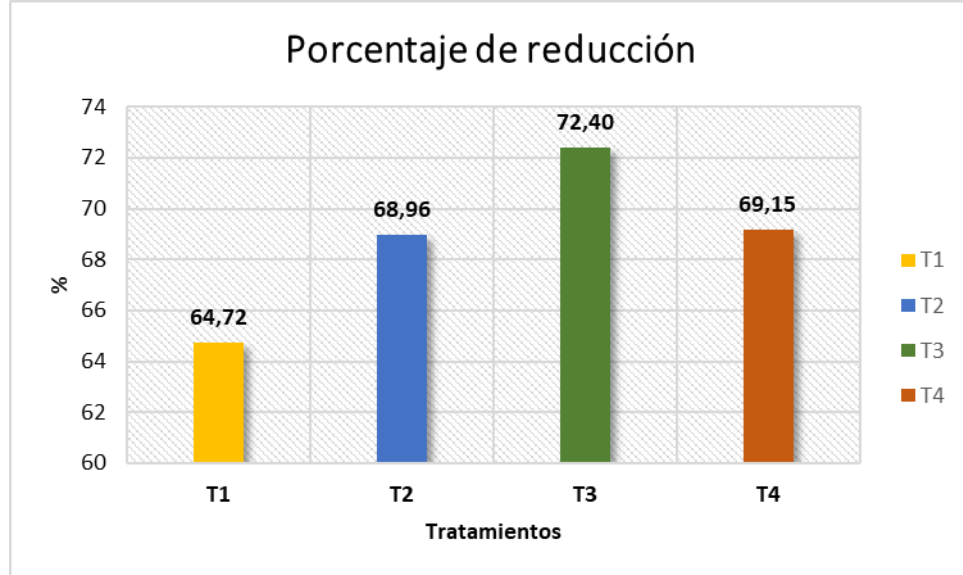
Figura 32. Conductividad eléctrica en el compost.



3.4 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL COMPOST DE PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO ME.

En la figura 33, se evidencian los porcentajes promedio de reducción de cada uno de los tratamientos evaluados, los cuales superaron las reducciones en peso reportadas por Robles (2015) cuyos valores oscilan alrededor de 66,9%, lo que se atribuye principalmente a la pérdida de humedad y transformación de la materia por los microorganismos, pues el T1 sin adición de microorganismos obtuvo el menor porcentaje de reducción.

Figura 33. Porcentaje de reducción de los tratamientos.



3.5 ANÁLISIS DE COSTOS.

A partir de la cantidad de compost producida y los datos registrados en el anexo Q donde se detallan los costos totales de producción, se logró definir el valor por kg de los tratamientos que incluyeron ME, como se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11. Costo por kg de compost producido.

TRAT	COSTO TOTAL por REPETICIÓN (\$)	CANTIDAD PRODUCIDA (kg)	COSTO PROMEDIO por kg (\$)
T2	88,333	55,87	1,581
T3	97,333	49,69	1,959
T4	81,167	55,53	1,462

Esto indica que el T4 fue el más rentable, debido a que es una alternativa de fácil acceso, obtención y realización en las fincas cafeteras, ya que se utilizan materiales e insumos existentes en ellas, lo cual permite disminuir tanto la dependencia de insumos externos como los costos de producción.

3.6 DETERMINACIÓN DE PESO SECO AÉREO Y RADICULAR DE LAS PLANTAS DE CAFÉ.

Para evaluar la calidad del compost de pulpa de café se promediaron los datos recolectados del peso seco de las 60 plantas (ANEXO E) y se obtuvieron las medias por cada tratamiento para las variables peso seco radicular y aéreo, como se muestra en el cuadro 12. Así mismo se obtuvo la relación entre las partes radicular y aérea (Ecuación 2), con lo que se define que la relación encontrada es mayor a la ideal en café (0,3-0,4) lo que demuestra que la planta está produciendo proporcionalmente más raíces que parte aérea (W. Harris, 1992). Lo anterior puede atribuirse a la edad de la planta (3 meses) puesto que la relación raíz parte aérea disminuye gradualmente a medida que la planta crece (Raven *et al.*, 1999), como lo demuestra Salazar y Mestre (1990) cuando emplearon pulpa de café descompuesta en almácigos en proporción 1:1 y obtuvieron relaciones menores a las de este estudio al evaluar los tratamientos seis meses después de establecido el almácigo.

Cuadro 12. Peso seco parte radicular, aérea y relación R: A.

Tratamientos	Peso seco radicular (g)	Peso seco aéreo (g)	Relación R: A
T1	0,24	0,45	0,53
T2	0,26	0,49	0,53
T3	0,45	0,81	0,56
T4	0,39	0,72	0,54

Nota: Relación R: A (Relación parte radicular: aérea).

En el cuadro 12, se evidencia que tanto para peso seco radicular como de partes aéreas el T3 mostro los mayores valores y el T1 los menores promedios.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS VARIABLES PESO SECO AÉREO Y RADICULAR.

El análisis de varianza ANOVA (0,05) (Anexo N y O) indicó diferencias significativas en cuanto a las variables peso seco radicular y aéreo en los tratamientos (Cuadro 13).

Para diferenciar los tratamientos se realizó la prueba de promedios de Tukey, la cual permitió detectar que todos los tratamientos se diferencian entre sí en las variables peso seco aéreo y peso seco radicular, como se muestra en las figuras 34 y 35.

Cuadro 13. Promedios de las variables peso seco radicular y aéreo de plantas de café según prueba de promedios de Tukey.

Tratamientos/ variables	T1 (Testigo)	T2 (Degradex)	T3 (Aqua clean)	T4 (ME caseros)	ANOVA Pr>F
Peso seco radicular (g)	0,24±0,01 ^{ab}	0,26±0,02 ^b	0,45±0,07 ^d	0,39±0,03 ^{cd}	0,00064
Peso seco aéreo (g)	0,45±0,04 ^{ab}	0,49±0,05 ^b	0,81±0,14 ^d	0,72±0,05 ^{cd}	0,00107

Letras diferentes en la misma fila difieren estadísticamente ($P < 0,05$)

ME: Microorganismos eficientes

Figura 34. Promedio peso seco de la parte aérea de plantas de café.

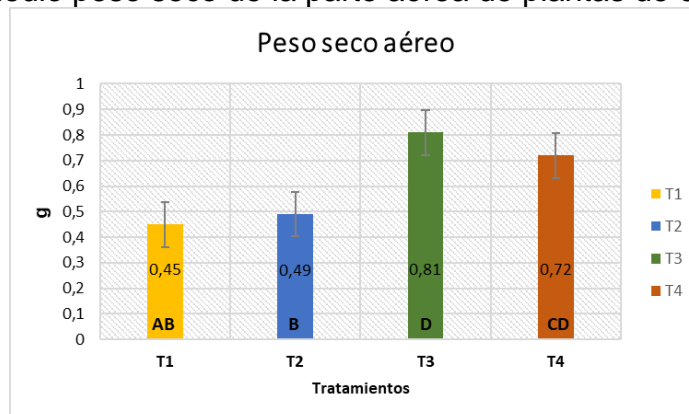
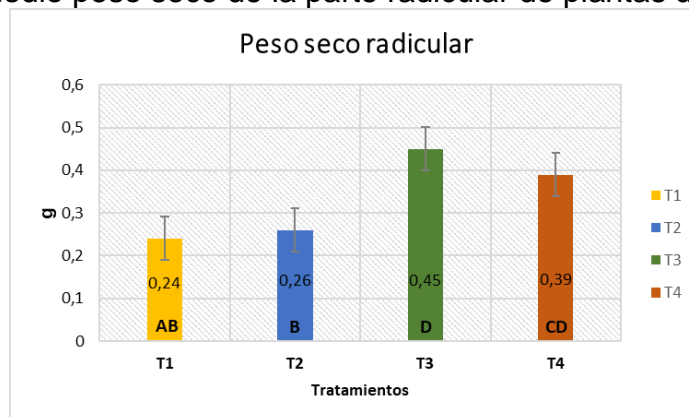


Figura 35. Promedio peso seco de la parte radicular de plantas de café.



Los resultados obtenidos en cuanto a peso seco radicular en los tratamientos 1 y 2 son inferiores a los reportados en investigaciones similares por Salamanca

y Sadeghian (2008) y Arias, (1995). Esto se debe principalmente a la proporción empleada (1:1) ya que proporciones de abono orgánico por encima del 25% pueden crear condiciones desfavorables para el crecimiento de las raíces, principalmente un exceso de humedad que fue aumentado por las continuas precipitaciones presentadas durante los meses en que estuvo establecido el almacigo (Anexo R) y que quizá generó condiciones típicas de anaerobiosis, las cuales al reducir la aireación del suelo, también limitan el crecimiento de raíces y por ende de la planta, como se observó en los resultados del T1 y T2 que fueron los más bajos. La alta retención de humedad también ocasiona en periodos lluviosos encharcamiento permanente y consecuencia de ello la aparición de hongos, lo cual no permitió el normal crecimiento de las plantas (Ávila *et al.*, 2007; ICAFE, 2011).

Investigaciones realizadas en compostaje de pulpa de café y su efecto en almácigos señalan que un pH alrededor de 9 disminuye la disponibilidad de nutrientes para ser tomados por la planta; esta es otra de las causas a las que se atribuye la baja acumulación de materia seca y el bajo desarrollo de las plantas en fase de almacigo de la presente evaluación según Arias (1995), ya que a pesar de que el rango de pH en los cuatro tratamientos se encontró muy cercano al límite exigido en la NTC 5167, la evaluación de calidad del compost en almácigos de café mostró efectos adversos en la acumulación de materia seca. Un pH alto puede provocar deficiencia de elementos menores especialmente hierro, manifestada en las plantas como clorosis calcárea (Ávila *et al.*, 2007). Esta sintomatología se evidenció en plantas que desarrollaron mayor número de pares de hojas como se muestra en la figura 36.

Figura 36. Síntomas de clorosis calcárea en plantas de café.



El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en ninguna de las variables fisicoquímicas, pero si en la evaluación de calidad del compost para las variables peso seco aéreo y radicular, lo que se relaciona principalmente con la composición microbiana de T3 y T4, que incluyen bacterias heterotróficas, anaeróbicas facultativas, fotosintéticas y quimiosintéticas, cuyas

principales funciones son promover el rápido crecimiento de raíces y estimular los procesos biológicos esenciales para el desarrollo de las plantas, mejorar la disponibilidad de nutrientes, disminuir la incidencia de plagas o enfermedades y mejorar la sanidad de las plantas (Moreno & Zapata, 2020). Por lo anterior, estos tratamientos mostraron mejor comportamiento, como se observa en la figura 37.

Figura 37. Desarrollo de las plantas de café por tratamiento.



En un estudio realizado por Álvarez y Damiao (2018) se reporta que los ME ejercen acción bioestimulante en el crecimiento y calidad de plantas de café en cuanto a las variables altura de la planta, número de hojas, área foliar, masa seca radicular y aérea. Los resultados aquí obtenidos también se atribuyen a que tanto el Aqua Clean como los ME caseros son usados como estimulantes para desarrollo de las plantas, mientras que el Degradex se usa más en procesos de limpieza de aguas residuales y descomposición de materiales orgánicos. Los ME caseros por habitar de manera natural en el suelo, se inoculan nuevamente en la rizosfera de la planta y ejercen funciones especiales mediante su actividad biológica, contribuyen en procesos de mineralización de la materia orgánica del suelo, aportan sustancias promotoras de crecimiento, y así las plantas cuentan con mayor disponibilidad de nutrientes para su mejor crecimiento FAO (2018).

El análisis de varianza mostró que el T3 y T4 son estadísticamente iguales, por lo tanto es importante considerar la opción más factible en términos de costos para el productor; al exhibir parámetros fisicoquímicos similares y mostrar mejores resultados en cuanto a calidad en las plantas de café, se sugiere emplear procesos que reduzcan gastos en compra de insumos como los ME caseros los cuales se pueden incluso proliferar mediante la adición de materias primas como melaza que contribuye en el mantenimiento y crecimiento de estos a medida que se empleen, mientras que esta misma acción no puede realizarse con los ME comerciales y por el contrario se continuaría con su dependencia o sujetos a su disponibilidad en el mercado.

4. CONCLUSIONES

La utilización de las tres fuentes de microorganismos eficientes en compostaje de pulpa de café aceleró en igual proporción el proceso de descomposición de las materias primas utilizadas y permitió la obtención de un abono orgánico estable en sesenta días, tiempo mucho menor al que tarda un compostaje en pilas o sin la adición de microorganismos.

A partir de la caracterización inicial de las materias primas empleadas se determinó que por sus propiedades físico-químicas era posible obtener un compost de óptima calidad en términos de contenido de nutrientes; luego, se corroboró que el proceso de compostaje mejoró la calidad nutricional inicial de las materias primas y dio lugar a un compost con contenidos más altos de elementos mayores NPK.

Las variables pH, humedad y temperatura medidas en este estudio con los ME siguieron un comportamiento similar a los procesos de compostaje normales y su medición permitió llevar un mejor control de las fases que hacen parte del proceso. Esto aseguró también la obtención de un producto de mayor calidad y que estuvo en óptimas condiciones para la evaluación en la etapa de almacigo.

Según el análisis fisicoquímico de compost obtenido en todos los tratamientos, los parámetros evaluados estuvieron en su mayoría dentro de los rangos establecidos por la NTC 5167, lo cual indica el potencial benéfico que los ME tienen para la producción de compost a nivel comercial.

La evaluación del compost permitió determinar que el T3 y T4 fueron los mejores tratamientos en términos de calidad al ser evaluados en almácigos de café, sin embargo, se puede inferir que al ser dos tratamientos similares estadísticamente es más factible emplear el tratamiento con microorganismos caseros por ser un producto alternativo y menos costoso.

5. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda:

Adicionar materiales secos que contribuyan en la regulación de la alta humedad inicial de la pulpa de café para favorecer el proceso de compostaje; además de la gallinaza se sugieren subproductos accesibles para el productor como cisco de café, cascarilla de arroz, aserrín, entre otros.

Evaluar diferentes dosis y frecuencias de aplicación de microorganismos eficientes para establecer diferencias y ajustar mejor las dosis recomendadas en el proceso de compostaje.

Realizar la evaluación de los tratamientos a mayor escala o en un prototipo diferente que permita la facilidad en los volteos y la entrada de aire evitando procesos de anaerobiosis en el compost.

Realizar pruebas con este compost en otras fases del cultivo de café o en otros cultivos para determinar su alcance en los diversos sistemas de producción agropecuaria.

Realizar investigaciones para la identificación de las especies presentes en los ME caseros que permitan definir mejor su función específica en el proceso de compostaje.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, Jorge y DAMIAO, José. Producción de posturas de café con la aplicación de microorganismos eficientes en Angola. En: *Centro agrícola*. [En línea]. Cuba. 2018, vol. 45, N° 2, p. 29-33. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000200004

ACOSTA, Wilson y PERALTA, Milton. Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de zootecnista. Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2015. 116 p. [Consultado: 11, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1234/ELABORACION%20DE%20ABONOS%20ORGANICOS%20PARA%20PARTIR%20DEL%20COMPOSTAJE%20DE%20RESIDUOS%20AGRICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARIAS, John. Caracterización de la pulpa de café en diferentes tiempos de descomposición y su efecto en almácigos de café. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Manizales: Universidad de Caldas. Facultad de agronomía. 1995. 117 p. [Consultado: 17, octubre, 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/31962>

ÁVILA, Wilson; SADEGHIAN, Siavosh; SANCHEZ, Pedro y CASTRO, Hugo. Producción de almácigos de café en el departamento de Santander con diferentes fuentes de materia orgánica y fósforo. [En línea]. Avance técnico Cenicafé. 2007. [Consultado: 19, octubre, 2022]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0356.pdf>

AVILÉS, Luis. Evaluación del enriquecimiento de compost de pulpa de café con mucílago. [En línea]. Tesis de grado para obtener el título de ingeniero agrónomo con énfasis en riegos en el grado académico de licenciado. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 2018. 120 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/03/Franco-Luis.pdf>

BAILÓN, Marlon y FLORIDA, Nelino. Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. En: *Enfoque UTE*. [En línea]. Perú. Ene, 2021. Vol. 12, N°1. P. 1-11. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>

BOHÓRQUEZ, Wilson. El proceso de compostaje. [En línea]. 1 ed. Bogotá: Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle. 05, ene, 2019. 38 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>

BORJA, Federico. Co- compostaje de residuos procedentes de almazara en zonas rurales del interior de la provincia de Alicante. [En línea]. Trabajo experimental y descriptivo para optar al título de máster universitario en gestión, tratamiento y valorización de residuos orgánicos. España: Universidad Miguel Hernández de Elche. Escuela politécnica superior de Orihuela. 2018. 98 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/5395/1/TFM%20S%C3%A1nchez%20Garc%C3%ADa%2C%20Francisco%20Borja.pdf>

BORJA, Federico. Op. Cit., 98 p.

BUENO, Pedro; DIAZ, Manuel y CABRERA, Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. [En línea]. España: Mundi Prensa Libros, 2008. p. 94-111. Tomo 1-6. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298016>

CAJAHUANCA, Sara. Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *aspergillus sp.*, *lactobacillus sp.*) en el proceso de compostaje en la central hidroeléctrica Chaglla. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental. Perú: Universidad De Huánuco. Facultad de Ingeniería. 2016. 166 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://1library.co/document/ydv4o3ly-62producción62n-organicos-utilizacion-microorganismos-saccharomyces-aspergillus-lactobacillus-hidroelectrica.html>

CAMACHO, Fabricio. Biofertilización orgánica de almácigos de café (*Coffea arábica* L.) con compost producido a partir de residuos biomásicos locales, microorganismos de montaña y lodos digeridos de biodigestor en la región de Monteverde, Costa Rica. [En línea]. Tesis como requisito para optar al grado de Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Sistemas de Producción Agrícolas. Costa Rica: Universidad Estatal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 2019. 172 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/18921/Tesis%20BioFertilizacion%20de%20Almacigos%20de%20Caf%c3%a9%20V16012019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CAMACHO, Fabricio. Op. Cit., 172 p.

CAMACHO, Jeniffer y ROJAS, Zulieth. Alternativas de producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos (provenientes de restaurantes, cartón, pasto y aserrín) mezclados con microorganismos eficientes (M.E). [En línea]. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Villavicencio, Meta: Universidad de Los Llanos. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. 2016. 113 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/334>

CAMPITELLI, Paola; CEPPI, Silvia; VELASCO, Manuel y RUBENACKER, Andrea. Compostaje: Obtención de abonos de calidad para las plantas. [En línea]. Córdoba: Edit. Brujas, 2014. 80 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: https://books.google.com.co/books/about/Compostaje.html?id=HkJgJwEACAAJ&redir_esc=y

CANET, Rodolfo. Uso de la materia orgánica en la agricultura. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. [En línea]. España. 2007. P. 11-17. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/23337224/uso-de-materia-organica-en-agricultura-ivia>

CANTARERO, Rodrigo y MARTÍNEZ, Omar. Evaluación de tres tipos de fertilizantes (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Variedad NB-6. [En línea]. Título de diploma. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. 2002. 62 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04c229.pdf>

CATIE- CENTRO AGRONÓMICO DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. El café: un grano de oro que mueve a millones de personas en el mundo. [En línea]. 2021. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.catie.ac.cr/catie-noticias/4731-el-café-un-grano-de-oro-que-mueve-a-millones-de-personas-en-el-mundo.html>

CERQUERA, Mariana. Evaluación de las diferentes estrategias de aprovechamiento de la pulpa de café en la finca La Lindosa. [En línea]. Monografía para optar al título de especialista en gestión ambiental. Huila, Colombia: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías. 2022. 147 p. [Consultado: 16, marzo, 2023]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8898/4/555980-2022-I-GA.pdf>

CHAURASIA, A; MEENA, B; TRIPATHI, A; PANDEY, K; RAI, A. and SINGH, B. Actinomycetes: an unexplored microorganism for plant growth promotion and biocontrol in vegetable crops. En: *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. [En línea]. 2018, vol. 34, N°9, p. 1-16. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2517-5>.

CHAVES, Víctor. Manejo de la nutrición y fertilización de almácigo de café en bolsa. En: *Revista informativa Icafé*. [En línea]. Costa Rica. 2013, vol. 1, N°1, p. 14-16. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14236157/manejo-de-la-nutrición-y-fertilización-de-almacigocafécafe-en-bolsa>

CONDOR, Aníbal. Effective Microorganisms: ¿Myth or reality? En: *Perú biol.* [En línea]. 2007. Vol. 14. N°2, p. 315-319. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v14n2/a26v14n02>

CONDORI, Ximena. Identificación y clasificación de microorganismos eficientes del suelo, estación experimental Patacamaya. [En línea]. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia: Universidad mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 2020, 139 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/24902/T-2770.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CRESPO, Marcos; GONZÁLEZ, Diego; RODRIGUEZ, Ramón; RUIZ, José y DURÁN, Noé. Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. En: *Revista internacional de contaminación ambiental*. [En línea]. Ciudad de México: Universidad de Guadalajara. Ago., 2018, vol. 34. N°3, p. 373-382. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.01>

CUELLAR, Jesús. Compostaje de pulpa de café mediante la incorporación de microorganismos eficientes de montaña en el municipio de Pitalito-Huila. [En línea]. Pitalito, Huila: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 2022. 44 p. [Consultado: 18, octubre, 2022]. Disponible: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/49524/jacuellarpa.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Se%20aislaron%20e%20identificaron%20microorganismos,%20Cromobacterium%20spp%20Pseudomonas%20spp.>

DEL ÁGUILA, Karen; VALLEJOS, Geomar; AREVALO, Luis y BECERRA, Alejandra. Inoculación de consorcios micorrícicos arbusculares en *Coffea arabica*, variedad caturra en la región San Martín. En: *Inf tecnol.* [En línea]. 2018, vol. 19. N°1, p. 137-146. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100137>

DELGADO, María; MENDOZA, Karla; TADEO, José Luis y MARTÍN, José. Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. En: *Revista internacional de contaminación ambiental.* [En línea]. México. 2019, vol. 35, N°4, p. 965-977. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/370/37066309015/html/>

DEMERA, Meibilyn. Influencia de abono orgánico a base de gallinaza en la producción de remolacha (*Beta vulgaris*). [En línea]. Proyecto de investigación para obtener título de Ingeniero Agropecuario. Manta, Ecuador: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2019. 40 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://1library.co/document/lzgeod8y-influencia-abono-organico-gallinaza-produccion-remolacha-vulgaris-manta.html>

DÍAZ, María; FLORES, Erling y MONTALBÁN, Zoila. Efectos de los abonos orgánicos a base de pulpa de café, compost, gallinaza en plántulas de café (*Coffea arabica*) en la finca “El bosque”. [En línea]. Carrera de ingeniería en agroecología tropical. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Facultad de Ciencias y Tecnología. Departamento de agroecología. 2015. 52 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/3856>

DOMINGUEZ, David. Clasificación de hongos y bacterias. Propiedades y colores. [En línea]. Esto es agricultura. 2019. 4 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://bit.ly/2GsL08Y>

ESCALONA, Miguel. Microorganismos efectivos: Su extracción y uso. [En línea]. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/asuarez/files/2011/02/Microorganismos-efectivos.pdf>

ESTRADA, Mónica. Manejo y procesamiento de la gallinaza. En: *Revista Lasallista de investigación.* [En línea]. Antioquia: Corporación universitaria Lasallista. Junio, 2005, vol. 2, N°1, p. 43-48. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520108.pdf>

FAO- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. [En línea]. 2013. [Consultado: 09 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>

FAO- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. [En línea]. 2018. [Consultado: 09 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i8864es/i8864ES.pdf>

FARFÁN, Fernando; SERNA, Cesar y SANCHEZ, Pedro. Almacigos para caficultura orgánica. Alternativas y costos. [En línea]. Avance técnico 452-Cenicafé. Manizales, Caldas. 2015. [Consultado: 25, febrero, 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/jspui/bitstream/10778/556/1/avt0452.pdf>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Producción anual de café de Colombia cierra 2022 en 11,1 millones de sacos. [Comunicado de prensa]. 2022. [Consultado: 16, marzo, 2023]. Disponible en: <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-anual-de-cafe-de-colombia-cierra-2022-en-111-millones-de-sacos/#:~:text=a%20prolongadas%20lluvias-,Producci%C3%B3n%20anual%20de%20caf%C3%A9%20de%20Colombia%20cierra%202022%20en%2011,los%20mercados%20internacionales%20en%202021.>

GAITÁN, Álvaro; VILLEGAS, Clemencia; RIVILLAS, Carlos; HINCAPIÉ, Édgar y ARCILA, Jaime. Almacigos de café: calidad fitosanitaria, manejo y siembra en el campo. [En línea]. Avance técnico 404-Cenicafé. Chinchiná, Caldas. 2013. [Consultado: 03, marzo, 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/350/1/avt0404.pdf>

GALINDO, Luz. Estandarización de la técnica de compostaje enriquecido con fósforo como método de reaprovechamiento de los residuos orgánicos de la plaza sur de Tunja. [En línea]. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias Biológicas. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias. 2018. 83 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2209>

GARCÍA, Francis. Calidad y tiempo de obtención del compost aplicando microorganismos eficientes. [En línea]. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. 2018. 90 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/31497/Garica_PF_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GONZÁLEZ, Fredy y LÓPEZ, Josept. Evaluación de la eficiencia de residuos sólidos orgánicos domésticos en composteras circulares para su uso como abono orgánico. [En línea]. Trabajo de grado en modalidad de investigación para optar al título de ingenieros agropecuarios. Popayán, Cauca: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. 2022. 85 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022].

GORDILLO, Fabian. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. [En línea]. Tesis para optar al título de Ingeniero agrícola y biológico. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería mecánica y Ciencias de la Producción. 2010. 143 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31487/D-CD42781.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HAUG, Roger. The practical handbook of compost engineering. [En línea]. Lewis Publishers, Boca Ratón, EUA. 1993. 388 pp. [Consultado: 09, marzo, 2023]. Disponible en: <https://www.routledge.com/The-Practical-Handbook-of-Compost-Engineering/Haug/p/book/9780873713733>

HIDRIN, N; GOODFELLOW, M; BOIRON, P; MORENO, M y SERRANO, J. A. (2001). Los estreptomices: Actualización y revisión didáctica. En: *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*. [En línea]. Caracas: 2001, vol. 21. N°1, p. 36 38. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562001000100006

HUERTA, Oscar; LÓPEZ, Marga; SOLIVA, Montserrat y ZALOÑA, María. Compostaje de Residuos Municipales. Control del proceso, rendimiento y calidad del producto. [En línea]. Cataluña. 2008. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://www.resol.com.br/cartilhas/compostaje.pdf>

ICAFE- Instituto del Café de Costa Rica. Guía Técnica para el Cultivo del Café. [En línea]. 1 ed. Costa Rica. 2011. 72 p. [Consultado: 10, marzo, 2023]. Disponible en: <https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

ICO-ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL CAFÉ. Informe de mercado del café. [En línea]. 2021. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-1021-e.pdf>

IMBACUAN, Estefanía y VALENCIA, Lesvia. Alternativas para el Manejo del Residuo de Pulpa de café Mediante Proceso de compostaje en la Vereda el Bosque – Municipio Yotoco. [En línea]. Proyecto aplicado para optar el título de Ingenieras ambientales. Palmira-Valle del Cauca: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD-CEAD. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 2021. 71 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40282/eimbacuani.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IMBACUAN, Estefanía y VALENCIA, Lesvia. Op. Cit., 71 p.

INGA, July. Eficiencia del tratamiento de residuos orgánicos pecuarios en composteras, mediante microorganismos eficientes presentes en la col china. [En línea]. Tesis para optar al título de ingeniería ambiental. Huánuco, Perú: Universidad de Huánuco. Facultad de ingeniería. 2018. 134 p. [Consultado: 13, octubre, 2022]. Disponible en: <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1249/INGA%20ALCANTARA%2c%20JULY%20ROXANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INGA, July. Op. Cit., 134 p.

KAQUI, Walter. Comparativo de fuentes de microorganismos en la elaboración de compost a partir de residuos agrícolas. [En línea]. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. 2021. 109 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/2140/TS_WJKB_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

KOIVULA, Niina; RAYKKONEN, Tarja; URPILAINEN, Sari; RANTA, Jussi and HANNINEN, Kari. Ash in composting of source-separated catering waste. En: *Bioresour Technol.* [En línea]. 2004 vol. 93. N°3, p. 291-299. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.025

MANTILLA, Jesús. Optimización del proceso conocido como “beneficio húmedo y seco” en la industria de café. caso: finca “villa ilma maria” en el municipio de Toledo, Norte de Santander. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de especialista en gerencia de proyectos. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América. Facultad de educación permanente y avanzada. 2019. 68 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7287/1/294526-2019-I-GE.pdf>

MARTÍNEZ, Roberto; MIGLIERINA, Ana; LUNA, Martín; KONIJNENBURG, Adriana y PELLEJERO, Graciela. Evaluación del compostaje de los residuos del procesamiento de cebolla. En: *Revista pilquen*. [En línea]. Argentina: Universidad Nacional del Sur. 2008. N°9, p.1-8. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3360603>

MARTÍNEZ, Saira; HERNÁNDEZ, Francisco; AGUILAR, Cristóbal y HERRERA, Raúl. Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. En: *Investigación y Ciencia*. [En línea]. México: Universidad Autónoma de Aguascalientes. 2019, vol. 77, N°77, p. 73-79. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67459697009/html/index.html>

MATHEUS, Jesús; CARACAS, José; MONTILLA, Fermín y FERNANDEZ, Oswaldo. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea maíz* L). En: *Agricultura andina*. [En línea]. Trujillo, Venezuela: 2007, vol. 13, p 27-38. [Consultado: 17, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/27873/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MELÉNDREZ, Nesli. y SÁNCHEZ, Jhasely. Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero ambiental. Perú: Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. 2019. 90 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1777/Areli_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MENDOZA, Juan. Producción de compost a partir de residuos orgánicos para el Ingenio Castilla Industrial S.A. Colombia. [En línea]. Pasantía para optar el título de Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Ciencias Ambientales. 2009. 75 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6398/T04412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MENDOZA, Juan. Op. Cit., 75 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Cadena café. Colombia. [En línea]. 2021. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

MORÁN, Daniel y NARANJO, Glenda. Elaboración de abono orgánico como resultado de una adecuada gestión ambiental de los residuos generados en la planta productora y procesadora de aves y cerdos de avícola Fernández S.A. [En línea]. Tesis para optar al título de magister en sistemas integrados de gestión de calidad, ambiente y seguridad. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Unidad de posgrados. 2013. 77 p. [Consultado: 19, octubre, 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4294>

MORENO, Joaquín y MORAL, Raúl. Compostaje. [En línea]. España: Mundi Prensa Libros. 2008. 570 p. [Consultado: 11, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298016>

MORENO, José y ZAPATA, Eduar. Evaluación de la eficiencia del bioestimulante Aqua Clean ACF-32 en la producción de plántulas de plátano (*Musa paradisiaca* L) utilizando la metodología de cámaras de multiplicación en el distrito de Turbo Antioquia. [En línea]. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Agrónomo. Turbo- Antioquia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 2020. 78 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/37424/eazapataro.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

MOROCHO, Mariuxi y LEIVA, Michel. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. En: *Centro Agrícola*. [En línea]. Riobamba, Ecuador: 2019, vol. 46. N°2, p. 93-103. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852019000200093#B5

MOROCHO, Mariuxi y LEIVA, Michel. Op. Cit., 93-103 p.

MUÑOZ, Juan y MUÑOZ, Javier. Evaluación de abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado de la ciudad de Popayán utilizando como indicadores plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) y repollo (*Brassica oleracea*). [En línea]. Tesis para optar al título de ingenieros agropecuarios. Popayán (Cauca): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2012, 45 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/851>

MUÑOZ, Juan; MUÑOZ, Javier y MONTES, Consuelo. Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca. En: *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. [En línea]. Popayán: 2015, vol. 13, N° 1, p. 73-82. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612015000100009&lng=e&nrm=iso&tlng=es

NARANJO, Edgar. Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. [En línea]. Trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Ambato, Ecuador: Universidad técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Agronómica. 2013. 78 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5310/1/Tesis-52%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20173.pdf>

NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167. Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. NTC 5167. [En línea]. 2011. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. 2011. 51 p.

PECEROS, Franklin. Efecto del compost de pulpa de café en la producción de plantones de *Coffea arabica* L. variedad catuai en Satipo. [En línea]. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en ciencias agrarias especialidad de agronomía. Perú: Universidad Nacional del centro de Perú. Facultad de Ciencias Agrarias. 2020. 48 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6277/T010_42391763_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑUELA, Aída; JARAMILLO, Álvaro; LEÓN, Álvaro y PEÑA, Andrés. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. [En línea]. 1a ed. Chinchiná, Caldas: Ed. FNC- Cenicafe, 2013. 326 p. Tomo 1. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/Manual_Cafetero

PIERRE, Francis; ROSELL, María; QUIROZ, Ana y GRANDA, Yasmil. Evaluación química y biológica de compost de pulpa de café en Caspito municipio Andrés Bello, estado Lara, Venezuela. En: *Bioagro*. [En línea]. Cabudare, Venezuela, 2009, vol. 21, N° 2, p. 105-110. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200004

POSADA, Claudia y OSORIO, Nelson. Respuesta de plántulas de café a la fertilización foliar y la aplicación de pulpa de café compostada. En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. [En línea]. Medellín: 2003, vol. 56, N°. 1, p. 1839-1850. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/36788>

PUERTA, Silvia. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. En: *Revista Lasallista de Investigación*. [En línea]. Antioquia, Colombia: 2004, vol. 1 N°. 1, p. 56-65. [Consultado: 18, enero, 2022]. ISSN: 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511009>.

RAVEN, P; EVERT R and EICHHORN, S. Biology of plants. [En línea]. 6° Edición. Freeman Publishers Co. New York: 1999. 944 p. [Consultado: 21, marzo, 2023]. Disponible en: https://indaga.ual.es/discovery/fulldisplay/alma991001483779704991/34CBUA_UAL:VU1

RESTREPO, Luisa y VILLA, Geraldine. Estrategias para el aprovechamiento de la pulpa de café en las fincas cafeteras del municipio de Andes, Antioquia. [En línea]. Trabajo de grado negocios internacionales. Medellín: Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria. Facultad de ciencias administrativas y económicas. 2020. 45 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/773/Pulpa%20cafe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RIVAS, Magalys y SILVA, Ramón. Calidad física y química de tres compost elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). En: *Revista ciencia Unemi*. [En línea]. Venezuela, Universidad de Oriente: 2020, vol. 13, N° 32, p. 87-100. [Consultado: 13, marzo, 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898009/html/>

ROBLES, Marlon. Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. [En línea]. Practica preprofesional. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de La Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. 2015. 59 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/386986940/Evaluacion-de-Parametros-de-Temperatura-Ph-y-Humedad-Para-El-Proceso-de-Compostaje-en-La-Planta-de-Tratamiento-de-Residuos-Solidos-Organicos-de-La-Mu>

RODRÍGUEZ, V. Informe anual de actividades 2006-2007. Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de café. 2007. [Consultado: 16, marzo, 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.38141/10783/2007>

ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María y PANTOJA, Alberto. Manual del compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. [En línea]. Santiago de Chile: 2013. 112 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>

ROSENANI, A; ROVICA, R; CHEAH, P; and LIM, C. Growth performance and nutrient uptake of oil palm seedling in prenursery stage as influenced by oil palm waste compost in growing media. En: *International Journal of Agronomy*. [En línea]. Hindawi: 2016, vol. 2016, N° 6930735, p. 1-8. [Consultado: 17, junio, 2022] Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2016/6930735/>

RUIZ, Félix. Evaluación del comportamiento de plántulas de café robusta (*Coffea canephora*) con la aplicación de varias dosis de *Ascophyllum nodosum*. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Agrarias. 2017. 53 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/19661>

SALAMANCA, Alveiro y SADEGHIAN, Siavosh. Almacigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. En: *Cenicafé*. [En línea]. Chinchiná, Caldas: 2008, vol. 59, N°2, p. 91-102. [Consultado: 6, marzo, 2023]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059%2802%29091-102.pdf>

SALAZAR, José. Efecto del tamaño de bolsa sobre el desarrollo de “colinos” de café. [En línea]. Avance técnico N°170- Cenicafé. 1991. [Consultado: 6, marzo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10778/945>

SALAZAR, José y MESTRE, Alfonso. Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. [En línea]. Avance técnico N°148-Cenicafé. 1990. [Consultado: 21, marzo, 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/919/1/avt0148.pdf>

SADEGHIAN, Siavosh. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. FNC-Cenicafé. [En línea]. Chinchiná, Caldas: Cenicafé, Boletín N° 32. 2008. [Consultado: 6, marzo 2023]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot032.pdf>

SANCHEZ, Fredd Oliver. Evaluación de la eficiencia orgánicos en relación a de otras un biofertilizante fuentes de residuos de fertilización desarrollo del cultivo de Rábano (*Raphanus sativus* L.). [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero Ambiental. Lima, Perú: Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2018. 199 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1683>

SÁNCHEZ, Arsenio. Variables de Deterioro Ambiental: Humedad Relativa y Calor. El problema de la degradación medioambiental del papel. [En línea]. Madrid: Boletín ANABAD, XLVI. 1996. Tomo 46. N° 2, p. 97-112. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=51009>

SÁNCHEZ, Miguel. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. En: *Bioresource technology*. [En línea]. Murcia, España: 2001, vol. 78, N° 3, p. 301–308. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00031-1](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00031-1)

SHARMA, Anamika; SAHA, Tarak; ARORA, Anju; SHAH, Raghubir and NAIN, Lata. Efficient Microorganism Compost Benefits Plant Growth and Improves Soil Health in Calendula and Marigold. En: *Horticultural Plant Journal*: [En línea]. Nueva Dheli, India: 2017, vol. 3, N° 2, p. 67-72. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.003>

SHERMAN, Ronda. Large-scale Organic Materials Composting North Carolina Cooperative Extension Service. 1999.

SERNA, Johanna; TORRES, Laura; MARTÍNEZ, Catherine y HERNÁNDEZ, María. Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. En: *Revista ION*. [En línea]. Armenia: Marzo, 2018, vol. 31, N°1, p. 37–42. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>

SILVA, Juan; LÓPEZ, Piedad y VALENCIA, Pady. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. [En línea]. Tesis de ingeniería Ambiental. Cali (Colombia): Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, 2009, 45 p. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/22059660-Recuperacion-de-nutrientes-en-fase-solida-a-traves-del-compostaje.html>

SORIANO, Jakelin. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de "Microorganismos eficaces"- concepción. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título profesional de ingeniero forestal y ambiental. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. 2016. 113 p. [Consultado: 25, febrero, 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3487/Soriano%20Vi%20lcahu%20man.pdf?sequence=1>

SOTO, Gabriela y MUÑOZ, Claudia. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica: Manejo integrado de plagas y agroecología. En: *Agricultura orgánica*: [En línea]. Costa Rica: 2002, N° 65, p. 123-129. [Consultado: 21, junio, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5955/A2037e.pdf?sequence=%201&isAllowed=y>

TECNICAFÉ. Parque tecnológico de innovación. Registro de precipitaciones en campo (2017-2021). [En campo]. 2023.

TOALOMBO, Rita. Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos aplicados en el cultivo de cebolla blanca (*Allium fistulosum*). [En línea]. Trabajo de investigación para optar al título de ingeniera agrónoma. Ceballos, Ecuador: Universidad técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Agronómica. 2012. 95 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2217/1/Tesis-22agr.pdf>

TORTOSA, German. Carbono orgánico soluble como índice de calidad de un compost. Compostando Ciencia. España: 2013.

TORTOSA, Germán. Resultados del contenido de humedad de las muestras de tiempo 0. Compostando Ciencia. España: 2020.

VALDERRAMA, Alejandra. Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo. [En línea]. Trabajo de grado para optar al título de especialista en biotecnología. Medellín: Universidad pontificia bolivariana. Escuela de ingenierías. 2013. 54 p. [Consultado: 11, nov, 2022]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1326/Monograf%C3%ADa%20Biodegradaci%C3%B3n%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos.pdf?sequence=1>

VALDIVIESO, Magdalena. Obtención y caracterización de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* superproductoras de glutation. [En línea]. Tesis de doctorado en química. Granada: Universidad de Granada, Departamento de biotecnología. 2013. 215 p. [Consultado: 10, octubre, 2022]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/927/1608004x.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VALDIVIESO, Magdalena. Op. Cit., 215 p.

VARGAS, Yury y PÉREZ, Liliana. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. En: *Revista unimilitar*. [En línea]. Yopal, Casanare: Fundación Universitaria San Gil, 2018, vol. 14, N° 1, p. 59-72. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.3108>

VÁSQUEZ, María; LÓPEZ, Andrea; FUENTES, Beatriz y COTE, Elva. Aceleración del proceso de compostaje de residuos postcosecha (pulpa) de café con la aplicación de microorganismos nativos. En: *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. [En línea]. La Habana, Cuba: 2010, vol. 41, p.1-7. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220509002.pdf>

VILLANUEVA, Luis. Efecto de los abonos orgánicos compost, guano de isla y gallinaza en el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). [En línea]. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de agronomía. Departamento Académico de Ciencias Agrarias. 2018. 88 p. [Consultado: 17, junio, 2022] Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2055>

VURUKONDA, Sai Shiva; GIOVANARDI, Davide and STEFANI, Emilio. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. En: *International journal of molecular sciences*. [En línea]. Italia: 2018, vol. 19, N° 4, p. 1-26. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5979581/>

W. HARRIS, Richard. Root-Shoot ratios. En: *Journal of Arboriculture*. [En línea]. Davis, California: January, 1992, vol. 18, N° 1, p. 39-42. [Consultado: 17, marzo, 2023]. Disponible en: <https://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=2479&Type=2#:~:text=The%20root%2Dshoot%20ratio%20is,times%20heavier%20than%20the%20roots.>

WEI, Zimin; ZHAO, Yue; WANG, Shiping; LIU, Hongliang and JIANG, Youhai. Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. En: *Chemosphere*. [En línea]. China: 2007, vol. 68, N° 2, p. 368-374. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.067>

YANG, Zhong; JIANG, Zhehui; HSE, Chung and LIU, Ru. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. En: *International Biodeterioration & Biodegradation*. [En línea]. China: 2017, vol. 117, N° p. 123-127. [Consultado: 17, junio, 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.12.003>

ZEBALLOS, María. Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales. [En línea]. Proyecto como requisito para optar al título de Ingeniera en Ambiente y desarrollo en el grado académico de licenciatura. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. 2017. 33 p. [Consultado: 19, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/32881915-2d77-496a-b7cd-00bffb2a2eff/content>

ANEXOS

Anexo A. Registro en campo de temperatura en el proceso de compostaje.

		TEMPERATURA (°C)																				
		FECHAS DE REGISTRO Y TOMA DE DATOS																				
Tratamientos	Repeticiones	7/05/2022	9/05/2022	12/05/2022	16/05/2022	18/05/2022	20/05/2022	23/05/2022	25/05/2022	27/05/2022	31/05/2022	4/06/2022	7/06/2022	9/06/2022	13/06/2022	16/06/2022	21/06/2022	24/06/2022	28/06/2022	1/07/2022	5/07/2022	8/07/2022
		T1	R1	37,5	47	54,5	53,7	54,9	59,1	59,8	54,3	48,7	48,2	47,4	53	41,4	35,9	32,5	27	26,7	23,2	22,2
T1	R2	39	46,8	52,5	53,8	51,2	64,5	57,6	50,7	44,8	37,2	38,7	41,4	32,5	38,5	33,1	31,6	25,1	22,5	21,7	23,5	22,2
T1	R3	36	44,8	50,1	47,4	46,7	59,1	51,9	49	38,7	39,1	39,9	36,1	38,9	39	31,3	29	24,9	23,8	20,9	23	21,4
T2	R1	37	46,5	46,7	54,2	55,5	60,8	55,5	53,2	46,9	49	48	46,7	39,9	39,5	30,2	41	25	21	22	21,5	22
T2	R2	32,5	46,3	48,1	51,4	50,8	63,3	54,6	48	44,7	41,1	42,1	35,5	36,1	36,7	33	32,5	25	23	21,5	23	22,8
T2	R3	38	47,5	52	53	38	59,4	53,9	47,2	37,4	34,7	36,7	37	32,9	36,9	30,5	28	25	22	22,5	23	21,7
T3	R1	36,5	47,5	47	54,8	53,9	55,2	58,4	53,5	52	54,4	52,7	40,2	38,1	37,7	33,7	30	34,3	25,5	24	23,3	22,9
T3	R2	27,5	46	46,1	50	47,2	63	55	51,3	48,4	42,4	42,5	43,1	38,6	35,1	31,3	24,5	23,5	23,1	19,6	23	22
T3	R3	40	47,5	47,3	48,2	44,8	59,4	54,4	48,7	42,2	35,4	34,5	36,8	28,1	32,6	29	27	26,5	23,5	22,8	23	21,2
T4	R1	37,5	47,5	46	55,6	54,4	54,4	55,5	54,9	49,4	47,2	47,1	41,4	41,9	38,1	36,1	31,5	32,6	25,6	24	23,4	23,7
T4	R2	38	45,5	45,2	51,8	49,8	59,4	56,2	56,1	51	42	41	36	33,1	38,1	35,2	30,5	24,5	22,8	22,5	22,5	22
T4	R3	40	47,8	44,8	54,6	49,4	60,8	53,8	48,9	44,4	37,6	36,6	41,5	35,4	34,3	28,5	26,5	26,5	24	20,7	23	21,2

Anexo B. Registro en campo de humedad en el proceso de compostaje.

		HUMEDAD (%)																				
		FECHAS DE REGISTRO Y TOMA DE DATOS																				
Tratamientos	Repeticiones	7/05/2022	9/05/2022	12/05/2022	16/05/2022	18/05/2022	20/05/2022	23/05/2022	25/05/2022	27/05/2022	31/05/2022	4/06/2022	7/06/2022	9/06/2022	13/06/2022	16/06/2022	21/06/2022	24/06/2022	28/06/2022	1/07/2022	5/07/2022	8/07/2022
		T1	R1	59,5	60	73	62,8	54,8	60	54,3	48,3	55,5	59	56	49	61	54	44,5	49	48	48	51,5
T1	R2	26	57,5	49,5	55,8	47,5	54,5	46,8	58,5	76	72,5	70,5	51,5	63	59,5	47,5	42	44	50,5	50,5	46	42
T1	R3	34,5	59,5	55,5	58,8	68,5	46,3	46,3	62	49,5	76,5	71,5	59,5	55	40	41,5	55	51	46,5	41,5	50,5	44
T2	R1	68	57,3	49	51	49,8	64,3	51,5	58,5	65,5	60,5	58,5	45	56,5	51	44,5	38,5	42,5	48	54	63	44,5
T2	R2	71	67	48	55,8	50,8	50,3	51	61,5	74,5	58	57	51,5	57,5	36,5	48	50,5	46,5	50,5	43,5	45,5	48,5
T2	R3	54,5	79,3	59,8	65	48,3	47,5	42,8	52,3	49	64	65,5	50,5	67	56,5	46	40,5	55,5	49	46	51	49,5
T3	R1	73,5	48,8	61,8	53,5	56	55,5	49	48	51,5	51,5	51,5	65,5	48	54	53,5	44,5	67	49,5	42	45,5	40
T3	R2	83	49,8	55	63,3	66,5	50,8	51,8	46	76,5	58,5	56,5	58	56	47,5	50,5	46,5	50	50,5	51,5	42	50
T3	R3	83,5	51,8	71,5	64,5	47,3	55,5	40,8	59	58	59,5	58,5	52,5	51	46,5	4,5	58	42	48	52	50,5	47,5
T4	R1	62	74,3	40,8	60,5	61	55,8	49	49	67	55,5	54,5	58,5	59,5	59,5	47	52	55	40	51	55,5	46,5
T4	R2	73,5	73,8	67,5	64,5	59	55,3	52,3	48	75,5	61	59	45,5	57,5	53	52	44	51,5	47,5	51	50	49
T4	R3	81	68	61	66,5	56,3	54,5	50,5	43,8	59	63,5	62	70	64	53	53	54,5	42	47	46,5	44,5	47,5

Anexo C. Registro en campo de pH en el proceso de compostaje.

		pH																					
Tratamientos	Repeticiones	FECHAS DE REGISTRO Y TOMA DE DATOS																					
		7/05/2022	9/05/2022	12/05/2022	16/05/2022	18/05/2022	20/05/2022	23/05/2022	25/05/2022	27/05/2022	31/05/2022	4/06/2022	7/06/2022	9/06/2022	13/06/2022	16/06/2022	21/06/2022	24/06/2024	28/06/2022	1/07/2022	5/07/2022	8/07/2022	
T1	R1	5,1	4,7	4,8	4,6	4,4	5,5	3,6	3,7	3,6	5	4,9	6	6,6	6,5	6,6	7	7,1	7,1	7	7	7,1	7,1
T1	R2	5,3	4,3	5,5	5,3	4,7	5,5	3,8	4,4	4,8	5,8	5,5	5,4	6,2	6,8	6,4	6,9	7,1	7	7,2	7,3	7,1	7,1
T1	R3	5,2	4,2	5,2	6	5,4	6,4	3,7	4,3	5,1	5,1	5,3	6,3	6,1	6	6,5	6,5	7	7,1	7,1	7,7	7,1	7,1
T2	R1	5,1	4,8	5,1	5,2	5	5,6	4	3,6	4,3	5,4	5,5	5,8	6,4	6,1	6,4	7,2	7	7	7,1	7,3	7,2	7,2
T2	R2	5,2	5	5,3	5,7	5,1	6,1	4,3	3,7	4,2	5,4	5,3	4,8	6	5,6	6,4	6,6	7	7,1	7	7,6	7,2	7,2
T2	R3	4,8	5	5,5	5,6	5,2	6,1	4,4	3,9	4,8	5,3	5,4	5,3	5,6	6,8	6,1	6,7	7,1	7	7,1	7,6	7	7
T3	R1	5,3	4,6	4,4	5,2	4,9	5,2	4	3,6	4,6	5,3	5,3	5,4	5,9	5,7	6	6,5	7	7	7,3	7	7	7
T3	R2	5,4	5	5	5,6	4,9	6	4,2	3,9	4,7	5,2	5,3	7,6	6,2	6,3	6,9	7,1	7	7,2	7,3	7,6	7,2	7,2
T3	R3	5,2	4,9	5,5	6,3	5,6	6,4	4,2	4,3	4,1	5,3	5,4	5,1	5,7	5,6	6,7	7,1	7,3	7,3	7,2	7,7	7,1	7,1
T4	R1	5,2	4,8	4,9	5,3	5,1	4,9	4,1	3,6	4,1	5,2	5,1	5,1	6	5,4	6,7	6,7	7	7	7	7	7	7
T4	R2	4,8	4,9	5,1	5,4	5,2	5,9	4,4	3,8	4,6	5,3	5,1	5,2	6,8	6,1	6,3	7	7,1	7,2	7	7,3	7,1	7,1
T4	R3	5,2	4,5	4,7	5,8	5,4	6	3,9	4,3	3,8	5,1	5,5	4,5	5	5,1	6,8	6,9	7	7,1	7,2	7,5	7,2	7,2

Anexo D. Análisis fisicoquímico de muestras de compost obtenido por tratamientos y repeticiones.

Compost														
Nlab	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Referencia	T1B1	T1B2	T1B3	T2B1	T2B2	T2B3	T3B1	T3B2	T3B3	T4B1	T4B2	T4B3	GALLINAZA	PULPA CAFÉ
pH	6,68	9,04	8,98	9,10	9,03	9,12	9,08	8,94	9,10	8,98	9,16	9,17	8,22	4,28
mS.cm ⁻¹ CE	2,62	16,04	16,77	13,66	17,41	17,30	12,61	15,47	16,73	16,51	16,88	18,31	8,57	12,96
Densidad g/cm ³	1,01	1,03	1,07	1,15	1,04	1,07	1,08	1,08	1,09	1,04	1,06	1,01	1,03	1,08
Retencion de Agua	73,57	50,34	72,43	81,27	72,34	69,12	78,83	77,63	82,41	78,85	76,28	69,94	147,32	44,71
% Humedad	26,43	37,08	39,64	26,12	39,72	42,40	34,31	35,31	45,06	34,29	36,43	46,20	13,34	83,44
% Ceniza	53,32	49,47	52,84	48,98	49,99	54,22	54,61	53,60	55,00	55,13	56,10	54,95	47,01	29,27
% N Total	2,49	2,61	2,90	2,39	2,71	2,58	2,41	2,68	2,54	2,57	2,28	2,69	2,77	2,53
% COoxid	8,65	22,12	16,56	15,27	20,78	16,60	15,58	22,00	16,01	14,60	20,89	15,21	24,79	24,00
% P	2,14	2,38	2,41	2,27	2,34	2,14	2,16	2,18	2,28	2,20	2,16	2,21	2,77	0,15
% K	3,94	4,62	4,41	4,22	4,60	4,43	4,25	4,17	4,31	4,46	4,43	4,35	2,34	3,94
% Ca	2,07	1,62	1,92	1,81	1,56	1,97	1,91	1,98	2,04	2,08	2,11	2,07	1,63	0,39
% Mg	1,39	1,40	1,52	1,36	1,42	1,53	1,51	1,53	1,53	1,57	1,58	1,47	1,19	0,08
mg.Kg ⁻¹ Fe	152,5	189,6	222,7	232,8	243,4	166,1	199,2	220,9	219,4	199,5	178,5	174,0	153,4	92,6
mg.Kg ⁻¹ Mn	58,4	53,9	48,6	53,0	52,4	49,9	53,6	60,1	58,8	58,9	64,3	53,8	41,2	31,6
mg.Kg ⁻¹ Zn	43,6	56,1	42,0	41,6	59,8	43,1	48,3	54,1	51,6	53,3	57,6	52,6	43,4	3,5
mg.Kg ⁻¹ Cu	221,3	229,8	241,1	216,6	227,8	239,0	237,9	219,0	206,6	225,4	237,2	243,1	217,3	4,1

Anexo E. Datos peso seco radicular y aéreo de plantas de café de tres meses en fase de almácigo.

Tratamiento/repetición	Peso seco radicular (gr)	Peso seco aéreo (gr)
T1R1	0,22	0,41
T1R2	0,24	0,43
T1R3	0,25	0,48
T2R1	0,24	0,45
T2R2	0,26	0,49
T2R3	0,27	0,54
T3R1	0,39	0,69
T3R2	0,42	0,79
T3R3	0,53	0,96
T4R1	0,36	0,67
T4R2	0,38	0,71
T4R3	0,42	0,77

Anexo F. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para nitrógeno.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,04	0,013	0,4	0,7556
Error	8	0,266	0,033		
Total	11	0,306			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Nitrógeno	T1	2,67	A
	T2	2,56	A
	T3	2,54	A
	T4	2,51	A

Anexo G. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para fosforo.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,026	0,0086	0,93	0,4696
Error	8	0,074	0,0092		
Total	11	0,099			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Fósforo	T1	2,31	A
	T2	2,25	A
	T3	2,2	A
	T4	2,19	A

Anexo H. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para potasio.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,061	0,02	0,5	0,6951
Error	8	0,331	0,041		
Total	11	0,392			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Potasio	T2	4,416	A
	T4	4,413	A
	T1	4,323	A
	T3	4,243	A

Anexo I. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para calcio.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,158	0,052	2,12	0,1766
Error	8	0,199	0,024		
Total	11	0,358			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Calcio	T2	2,086	A
	T4	1,976	A
	T1	1,87	A
	T3	1,78	A

Anexo J. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para magnesio.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,027	0,009	2,22	0,1631
Error	8	0,033	0,004		
Total	11	0,06			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Magnesio	T4	1,54	A
	T3	1,52	A
	T1	1,44	A
	T2	1,44	A

Anexo K. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para carbono orgánico oxidable.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	35,107	11,702	0,35	0,7933
Error	8	260,668	33,833		
Total	11	305,775			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
CO oxidable	T3	17,863	A
	T2	17,55	A
	T1	15,777	A
	T4	13,567	A

Anexo L. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para pH.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	1,602	0,534	1,17	0,381
Error	8	3,663	0,457		
Total	11	5,265			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
pH	T4	9,1033	A
	T2	9,0833	A
	T3	9,04	A
	T1	8,2333	A

Anexo M. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para conductividad eléctrica.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	49,281	16,427	0,9	0,4844
Error	8	146,779	18,347		
Total	11	196,061			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Conductividad eléctrica	T4	17,233	A
	T2	16,123	A
	T3	14,937	A
	T1	11,81	A

Anexo N. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para peso seco radicular.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,09	0,031	18,09	0,00064
Error	8	0,014	0,002		
Total	11	0,11			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Peso seco radicular	T3	0,45	D
	T4	0,39	CD
	T2	0,26	A
	T1	0,24	AB

Anexo O. Análisis de varianza y prueba de promedios mediante prueba del rango estudentizado de Tukey para peso seco aéreo.

Fuente de variación	G. L	S.C	C.M	F.C	Pr>F
Tratamientos	3	0,29	0,095	15,53	0,00107
Error	8	0,049	0,006		
Total	11	0,33			

Parámetro	Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
Peso seco aéreo	T3	0,81	D
	T4	0,72	CD
	T2	0,49	A
	T1	0,44	AB

Anexo P. Análisis de suelo lote N° 3.

PARAMETRO	UNIDAD	LOTE 3
pH	V: V	5,08
C.E	dS/m	0,128
M.O	%	11,04
P	ppm	3,28
S	ppm	12,12
Ca	Cmolc/Kg	1,17
Mg	Cmolc/Kg	0,63
K	Cmolc/Kg	0,48
Na	Cmolc/Kg	0,02
Al	Cmolc/Kg	1,72
CICE	Cmolc/Kg	4,02
B	ppm	0,08
Cu	ppm	0,45
Fe	ppm	11,87
Mn	ppm	3,58
Zn	ppm	1,63
Textura		FA

Anexo Q. Costos de producción de compost por tratamientos.

ITEM	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
COSTOS GENERALES DEL PROYECTO					
1 COSTOS DIRECTOS					
1,1	Adecuación del lugar	Jornal	1	\$ 32.000	\$ 32.000
1,2	Costrucción de cajas composteras	Jornal	7	\$ 32.000	\$ 224.000
1,3	Recolección de materias primas	Jornal	1	\$ 32.000	\$ 32.000
1,4	Volteos	Jornal	6	\$ 32.000	\$ 192.000
SUBTOTAL				\$	480.000
2 INSUMOS					
2,1	Gallinaza	Bulto	12	\$ 12.000	\$ 144.000
SUBTOTAL				\$	144.000
3 CONSTRUCCIONES					
3,1	Tablas	Unidad	36	\$ 7.000	\$ 252.000
3,2	Clavos	Kilogramo	2	\$ 7.000	\$ 14.000
3,3	Alambre dulce	Kilogramo	1	\$ 6.000	\$ 6.000
3,4	Bastidores	Unidad	18	\$ 4.000	\$ 72.000
SUBTOTAL				\$	344.000
TOTAL/PROYECTO				\$	968.000
GASTOS GENERALES/TRATAMIENTO				\$	242.000
GASTOS GENERALES POR TRATAMIENTO+ME					
T2 (Degradex)		Litro	1	\$ 23.000	\$ 23.000
				COSTO T2	\$ 265.000
T3 (Aqua Clean)		Litro	1	\$ 50.000	\$ 50.000
				COSTO T3	\$ 292.000
T4 (Caseros)		Litro	1	\$ 1.500	\$ 1.500
				COSTO T4	\$ 243.500

Anexo R. Registro de precipitaciones durante los meses agosto, septiembre y octubre.

DÍAS/MES	CANTIDAD DE AGUA (mm)																															TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
AGOSTO	4	18	1	0,6	0	6,4	0	0	0	0	0	0	1,9	0,3	2,2	1	1,5	0,5	0	0	0,8	0	0	0	0	0	9,5	0	6,3	0	0	54
SEPTIEMBRE	1	0	1,9	0	0	0	0,7	0	1,2	0	0	6,7	13,8	0,7	8	0	4,5	0,5	28	28	3,7	6	1,4	0	0,7	1	0	11	3	-	121,8	
OCTUBRE	24	0	0	0	1	5	6	3	4	5	0	8	5	20	1	8	5	5	22	12	0	14	35	25	0	79	12	21	15	20	18	373