

**Alternativas para el Manejo del Residuo de Pulpa de café Mediante Proceso de compostaje
en la Vereda el Bosque – Municipio Yotoco**

Lesvia María Valencia

Estefanía Imbacuan

Proyecto Aplicado

Presentado como requisito para optar el título

Ingeniera Ambiental

Tutora

Liliana Rocío Beltrán

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD - CEAD Palmira

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Programa de Ingeniería Ambiental

Palmira, Valle del Cauca

Abril 2021

Resumen

En la Vereda El Bosque - Municipio de Yotoco (Valle del Cauca), se practica el proceso del beneficio húmedo del café, que produce altas cantidades de pulpa de café como subproducto y el único manejo que se le brinda a este residuo es el almacenamiento en fosas, el cual no es higiénicamente un tratamiento adecuado, una de las alternativas como medida de manejo de este importante residuo es el proceso de compostaje, aprovechando los residuos orgánicos generados de distintas actividades agrícolas, pecuarias y domésticas de la región, generando una estabilización de los residuos y un producto de valor agregado. El objetivo principal de este proyecto es la evaluación de distintas alternativas para el manejo del residuo de pulpa de café mediante el proceso compostaje. Se realizó la caracterización de residuos orgánicos generados de la producción pecuaria, domésticos y aquellos asociados a cultivos en la vereda, a su vez se ejecutaron tres tratamientos, cada uno con tres repeticiones, se realizó el seguimiento y evaluación de las variables fisicoquímicas como la temperatura, pH, humedad, relación C/N; además se tuvo en cuenta el factor social.

Según la evaluación realizada a los tres tratamientos (T1, T2 Y T3), la alternativa seleccionada para dar manejo al residuo resultante del beneficio del café, es el tratamiento T3, en el cual se compostó la pulpa de café con residuos de cosecha como el vástago de plátano, este tratamiento arrojó resultados variables, pero que están dentro de los rangos establecidos para un compostaje óptimo, rico en potasio, magnesio, calcio, entre otros; así mismo brindar una facilidad al caficultor a la hora de implementar esta alternativa de compostaje, debido a la asociatividad de cultivos que existe entre el café y el plátano, convirtiéndose en una oportunidad de negocio sustentable y mitigando los impactos ambientales causados por este subproducto.

Palabras claves: alternativas, compostaje, manejo, microorganismos, pulpa de café, residuos orgánicos.

Abstract

In the Vereda El Bosque - Municipality of Yotoco (Valle del Cauca), the process of wet coffee processing is practiced, which produces high amounts of coffee pulp as a by-product and the only management that is provided to this residue is storage in pits, which is not hygienically an adequate treatment, one of the alternatives as a measure of management of this important waste is the composting process, taking advantage of the organic waste generated from different agricultural, livestock and domestic activities in the region, generating a stabilization of waste and a value-added product. The main objective of this project is the evaluation of different alternatives for the management of coffee pulp residue through the composting process. The characterization of organic waste generated from livestock production, domestic and those associated with crops in the village was carried out, in turn three treatments were executed, each with three repetitions, the monitoring and evaluation of the physicochemical variables such as temperature were carried out. , pH, humidity, C / N ratio; the social factor was also taken into account.

According to the evaluation carried out to the three treatments (T1, T2 and T3), the selected alternative to manage the residue resulting from the benefit of coffee is treatment T3, in which the coffee pulp was composted with harvest residues such as banana stem, this treatment yielded variable results, but they are within the established ranges for optimal composting, rich in potassium, magnesium, calcium, among others; Likewise, it provides a facility to the coffee grower when implementing this composting alternative, due to the associativity of crops that exists between coffee and banana, becoming a sustainable business opportunity and mitigating the environmental impacts caused by this by-product.

Keywords: alternatives, composting, management, microorganisms, coffee pulp, organic waste.

Tabla de contenido

1. Introducción	10
2. Descripción Del Problema	13
3. Justificación	15
4. Objetivos	17
4.1. Objetivo General.....	17
4.2. Objetivos Específicos	17
5. Marco Teórico Y Conceptual.....	18
5.1 Antecedentes de la pulpa de café.....	18
5.1.1 La pulpa de café y su composición fisicoquímica	19
5.2 Compostaje como proceso biooxidativo y estabilización de residuos orgánicos.....	21
5.2.1 Fases del compostaje según su temperatura.....	21
5.2.1.1 Fase mesófila.....	21
5.2.1.2 Fase termófila o de higienización.....	22
5.2.1.3 Fase de enfriamiento.....	23
5.2.1.4 Fase de maduración.....	23
5.2.2 Parámetros de control en el proceso de compostaje.....	24
5.2.2.1 Aireación.....	24
5.2.2.2 Humedad.....	25

5.2.2.3 Temperatura.....	25
5.2.2.4 pH.....	26
5.2.2.5 Relación C/N.....	26
5.2.2.6 Tamaño de partícula.....	27
5.2.3 Residuos utilizados en el proceso de compostaje.....	27
5.2.3.1 Residuos de Producción avícola (pollinaza).....	28
5.2.3.2 Residuos orgánicos (domésticos).....	29
5.2.3.3 Residuos de cultivo.....	29
5.2.3.3.1 Vástago de plátano.....	30
5.2.3.4 Microorganismos eficientes (E.M).....	30
5.2.3.4.1 Inoculo Microbiano Orgánico (<i>lactobacillus casei</i> , <i>saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Rhodopseudomonas palustris</i>).....	31
5.2.3.4.1.1 Microorganismos eficientes: <i>lactobacillus casei</i>	32
5.2.3.4.1.2 Microorganismos eficientes: <i>saccharomyces cerevisiae</i>	32
5.2.3.4.1.3 Microorganismos eficientes: <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	33
6. Marco legal.....	34
7. Metodología.....	37
7.1 Localización.....	37
7.2 Caracterización de residuos.....	38
7.3 Método de experimentación: Análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar.....	38
7.4 Establecimiento de ensayo y conducción del experimento.....	39

7.5 Evaluación de variables fisicoquímicas.....	43
7.6 Evaluación de factor social.....	44
7.7 Socialización de resultados.....	45
8. Resultados y discusión.....	46
8.1 Análisis del Parámetro Potencial de Hidrógeno (pH.....	46
8.2 Análisis del Parámetro de Temperatura °C.....	49
8.3 Análisis del Parámetro de contenido de humedad %.....	51
8.4 Análisis del factor social.....	54
8.5 Discusión general.....	55
9. Conclusiones.....	57
10. Recomendaciones.....	59
11. Referencias.....	60
12. Anexos.....	68

Índice De Tablas

Tabla 1. Contenido nutricional de la pulpa del café	20
Tabla 2. Composición físico-química de la Pulpa de Café	20
Tabla 3. Composición química de la pollinaza	28
Tabla 4. Caracterización fisicoquímica de vástago de plátano.....	30
Tabla 5. Normatividad ambiental.....	34
Tabla 6. Caracterización de residuos.....	41
Tabla 7. Datos Potencial de Hidrógeno (pH).....	47
Tabla 8. Datos Temperatura (°C).....	50
Tabla 9. Datos Humedad (%).....	52

Índice De Figuras

Figura 1. Localización de lugar experimental	37
Figura 2. Representación de las medias y los efectos de los tratamientos.....	39
Figura 3. Adecuamiento y diseño de las pilas de compostaje.....	40
Figura 4. Establecimiento de pilas de compostaje de la pulpa de café	41
Figura 5. Inóculo Microbial para compostaje.....	43
Figura 6. Melaza	43
Figura 7. Medición de los parámetros pH, Temperatura y contenido de humedad	44
Figura 8. Socialización de resultados con los caficultores y personas interesadas de la vereda El Bosque – Municipio Yotoco.....	45

Índice De Gráficas

Gráfica 1. Gráfica de resultados Potencial de Hidrógeno (pH).....	48
Gráfica 2. Gráfica de resultados Temperatura (°C).....	51
Gráfica 3. Gráfica de resultados Humedad %.....	53

1. Introducción

“La producción de café en Colombia es catalogada como la actividad económica principal, debido a los elevados precios de producción y los niveles de cosecha, siendo ésta un eje articulador para el desarrollo rural del país” (Serna To. Ma. He., 2018, p.2).

Además, en Colombia la explotación cafetera generó aproximadamente 784.000 toneladas/año de biomasa residual, que constituyen el mucilago, la pulpa, cascarilla, entre otros, donde únicamente es aprovechado el 5% del peso del fruto. A, sí mismo, un elevado volumen de residuos puede provocar un problema ambiental como es la contaminación hídrica producto de la asfixia de la biota acuática debido a que los microorganismos presentes de ésta, genera una demanda mayor de oxígeno para su descomposición (Serna To. Ma. He., 2018, p.3).

La gran mayoría de veces la pulpa no es liberada junto con las aguas residuales y es acumulada en espacios cercanos al beneficio, trayendo con ello un foco causante de insectos y malos olores a escala local; produciendo molestias a la comunidad y, corriendo el riesgo de afectar la salud humana; en este orden de ideas, en cuanto a la acumulación de los residuos, estos generan impactos negativos al suelo afectando sus propiedades fisicoquímicas, por lo anterior la implementación de compostaje es una elección viable para dar un manejo adecuado a los residuos y así contribuir con la mitigación de impacto ambiental y el beneficio de los caficultores convirtiendo en un negocio sostenible.

El compostaje obtiene varios beneficios tales como: reducción del uso de fertilizantes inorgánicos que pueden ser nocivos al medio ambiente, el aprovechamiento y la reducción de volumen de residuos, el aporte de nutrientes al suelo mejorando sus propiedades físicas y químicas, así mismo mejorando las condiciones de sus cultivos permitiendo que crezcan sanos, resistentes ante las enfermedades, con un alto rendimiento y productividad.

La vereda El Bosque, ubicada en el municipio de Yotoco (Valle del Cauca) se caracteriza por ser pionera en la actividad cafetera y ha representado históricamente un grillete muy importante en la economía regional, pese a que su actividad económica principal es el café, sus fincas no cuentan con un sistema de tratamiento de residuos sólidos para el manejo de la pulpa generada y el proceso de producción empleado continuamente genera grandes impactos ambientales, principalmente como resultado de los altos volúmenes de residuos generados y su inadecuado manejo.

Mediante el desarrollo del presente proyecto aplicado se ejecutó la evaluación de diferentes alternativas para el adecuado manejo de la pulpa de café mediante el proceso de compostaje, se cumplió con el objetivo de seleccionar la mejor alternativa de acuerdo con los índices de viabilidad en las fincas productoras de la región para de esta manera contribuir a la reducción del índice de contaminación generado por esta actividad económica.

A partir de la evaluación y seguimiento a las alternativas, fueron obtenidos resultados positivos en cuanto a los tres tratamientos de compostaje de pulpa de café que fueron implementados en la finca Yemen, a partir de ello se determinó que la alternativa más viable, fue el tratamiento T3 donde se compostó la pulpa de café mezclada con el vástago de plátano, la elección se realizó a partir del análisis de los parámetros: Temperatura, pH y porcentaje de humedad; siendo obtenidos datos que se encuentran dentro de los rangos que caracterizan a un compostaje óptimo. Así mismo, se tuvo en cuenta el beneficio de los caficultores de la región lo cual es primordial, ya que en la región se implementan los cultivos asociativos como pulpa de café – plátano; por lo tanto, tienen mayor acceso de los residuos a utilizar, aportando además a la mitigación de la contaminación ambiental y logrando el beneficio del factor social.

Finalmente, se llevó a cabo la socialización a los caficultores, sobre los resultados obtenidos en la implementación del proyecto, donde se dieron a conocer cada una de las

alternativas evaluadas, y la definición de la alternativa más efectiva y viable de acuerdo con los resultados de los parámetros evaluados pH, temperatura y humedad, además de tener en cuenta las necesidades y facilidades de los caficultores de la vereda el Bosque-Municipio Yotoco.

2. Descripción Del Problema

La vereda El Bosque, municipio Yotoco (Valle del Cauca), tiene como principal actividad económica la siembra y beneficio húmedo del café, esto gracias al tipo de suelo que posee y su ubicación geográfica.

Actualmente los residuos generados en esta actividad están generando grandes impactos ambientales en la vereda y en la zona cafetera debido a que en gran parte de los casos los residuos realizan su proceso de descomposición sobre el suelo sin tener ningún tipo de control, posibilitando la generación de problemas fitosanitarios y contaminación cruzada. En dichos residuos existe la posibilidad de encontrar "compuestos bioactivos como proteínas y azúcares, que pueden provocar la contaminación en fuentes hídricas" (Serna To. Ma. He., 2018, p.3). estos residuos también son acumulados en espacios conocidos como fosas para evitar posibles sanciones por parte de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (C.V.C), generando contaminación en fuentes hídricas superficiales y subterráneas puesto que comúnmente sus aguas residuales y lixiviados llegan a los cuerpos de agua. En términos generales, sobre los residuos producidos, no se realiza ningún tipo de tratamiento de recuperación o aprovechamiento, que genere un valor agregado, ingresos adicionales o la mitigación de impactos ambientales.

El compost tiene como función la desintegración de la materia orgánica por los microorganismos de manera natural que se encuentran presentes en los materiales usados, por medio de un proceso aerobio (Andrés & Guevara, 2018). Además, el compost es una práctica basada en un proceso biológico, con bastante humedad, lo cual afirma una transformación "...higiénica de los residuos orgánicos en un alimento uniforme, nutritivo para los suelos, por consiguiente, en este proceso actúan la población microbiana como son las bacterias, actinomicetos y hongos que son los responsables del 95% de la actividad del compostaje"

(Agudelo, 2012, p.46).

Considerando esta alternativa, los medianos y grandes productores podrán dar manejo al residuo resultante del beneficio húmedo del café como lo es la pulpa y también convertir este proceso en una alternativa de negocio que permitirá maximizar las utilidades de sus unidades, dando lugar a la conservación de los recursos naturales de la vereda el Bosque-municipio Yotoco.

3. Justificación

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia, es una institución que, a partir de la adquisición de conocimientos es generadora de cultura y fortalecimiento de un espíritu emprendedor, contribuyendo con el desarrollo económico, social y humano sostenible de las comunidades con calidad, eficiencia y equidad social (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2021).

Desde el programa de Ingeniería Ambiental se busca generar una alternativa integral con sólidas bases en ciencias básicas, sociales y económicas, la formulación de alternativas, “enfocadas a la preservación de los recursos naturales, aportando elementos para la solución de problemáticas ambientales” (ECAPMA, 2021). Es por ello que a través de este proyecto se busca evaluar alternativas para el manejo del residuo de la pulpa de café, mediante el proceso de compostaje en la Vereda El Bosque - Municipio Yotoco.

La producción y beneficio de café es el principal factor de desarrollo económico de esta vereda, generando afectaciones ambientales por el inapropiado tratamiento y disposición final que se le brinda al residuo de la pulpa de café.

La pulpa del café representa alrededor del 42% en peso del fruto fresco, por lo tanto, es el subproducto de mayor cantidad del beneficiado húmedo, alrededor de cada dos toneladas de café producen una tonelada de pulpa, por lo que es importante minimizar sus riesgos e impacto ambiental derivados de su mal manejo (Fierro Co. Go. Ro. Mo., 2018, p.10).

El vertimiento de la pulpa de café en botaderos a cielo abierto, fosas o esparcida en terrenos cercanos a fuentes hídricas es el manejo actual que se le brinda a este residuo especial y de difícil manejo en esta región. El aprovechamiento de este residuo orgánico permite realizar procesos de compostaje como alternativa apropiada para finalizar el ciclo de la materia orgánica mezclada con residuos orgánicos productos de las actividades agrícolas, pecuarias y domésticas

propias de la región. Además, el compost crea impactos positivos en el suelo tanto en sus características físicas, químicas como biológicas, su adhesión en el suelo posibilita mejorar su composición, disminuyendo los inconvenientes de compactación y susceptibilidad a la erosión, incremento de la función de retención de agua y el intercambio gaseoso, favoreciendo de esta forma el desarrollo radical (Herrera & Prado, 2007). El compost mejora la actividad biológica del suelo que provee de alimento a los microorganismos habitantes en él y se alimentan de humus; como resultado de la optimización en la aireación y otras características se incrementa y diversifica la flora bacteriana (Herrera & Prado, 2007)

Dar manejo al residuo de la pulpa de café mediante el proceso de compostaje permite a los campesinos, cuya principal actividad económica depende netamente de la producción de café, la opción de realizar el correcto manejo y disposición de este residuo y a su vez una alternativa de negocio sustentable por la comercialización de un mejorador de suelos. Al mismo tiempo, contribuye en la reducción de los impactos ambientales generados al sustituir el uso de fertilizantes químicos previniendo en la eutrofización en fuentes hídricas por la escorrentía de fertilizantes utilizados en diversos cultivos (Vargas y Pérez, 2018, p.8).

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar alternativas para el manejo del residuo de pulpa de café mediante proceso de compostaje en la vereda el Bosque – Municipio Yotoco.

4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar residuos orgánicos de la producción pecuaria, domésticos y aquellos asociados a cultivos en la vereda El Bosque – Municipio Yotoco como insumos alternativos en el proceso de compostaje.
- Establecer ensayo de compostaje en campo, empleando mezclas de residuos orgánicos seleccionados con pulpa de café.
- Determinar la alternativa de manejo del residuo de pulpa de café más eficiente, mediante evaluación de variables fisicoquímicas y factor social.
- Socializar con los caficultores de la región los resultados obtenidos para los tratamientos de compostaje evaluados determinando el mejor manejo de los residuos de la pulpa de café.

5 Marco Teórico Y Conceptual

5.1 Antecedentes de la pulpa de café

Avilés (2018) indica que "...Aproximadamente en 1940, en Centro América, en el Salvador, nació el interés por empezar estudios con interacción al procedimiento de los desperdicios sólidos y líquidos del beneficiado del café, y veinte años después surgieron estudios en África del este Kenia..." (p.12).

Por otro lado, Avilés (2018):

El principal desecho generado en el proceso del beneficio húmedo del café, es la pulpa, acompañado por las aguas mieles y las de recirculación del despulpado; la pulpa es el residuo más abultado y contaminante del proceso, el 40% en peso de la fruta del café se recupera fácilmente por distintos diseños tales como parrillas o trampas que son separadas en agua de arrastre obteniendo la pulpa en seco (p.12)

El beneficio húmedo del café, genera contaminación ambiental provocada por la pulpa del café, en ocasiones estos materiales son descargados a recursos hídricos, así contaminando las fuentes de agua potable y destruyendo diversos tipos de vida, en otras industrias cafetaleras el tratamiento dado al residuo de la pulpa de café es mediante el almacenamiento en fosas, provocando condiciones insalubres que permiten el crecimiento de insectos y como resultado el riesgo de afecciones para la salud de la comunidad. (Avilés, 2018, p.12)

La pulpa de café, tienen la posibilidad de usarse como fundamental "fuente nutricional para cultivos y animales mediante procesos de aprovechamiento fáciles y al alcance de todos los empresarios cafetaleros" (Avilés, 2018, p.13). Una excelente alternativa, es el compostaje, para dar un manejo adecuado y propicio a este residuo orgánico.

Avilés (2018) afirma que “a partir de un estudio realizado a los subproductos del café, la pulpa es un recurso que contribuye a la estabilización y recuperación de suelos, siempre y cuando estos sean tratados de manera eficiente y segura” (p.13).

5.1.1 La pulpa de café y su composición fisicoquímica

El mesocarpio es uno de los elementos de la cereza del café, además de ser conocido como pulpa de café, se encuentra abajo del pericarpio (piel) y muestra una textura fibrosa, con un alto índice de glucosa y una coloración amarilla, la obtención de café se hace principalmente, mediante el proceso húmedo al cual es sometido el fruto de café, que se apoya en poner la cereza de café sobre agua para dividir a las inmaduras que flotan, de las maduras que se hunden y después remover de forma mecánica la pulpa de las frutas sumergidas por medio de un despulpador y, al final, los restos de pulpa son destruidos (Martínez He. Ag. Ro., 2018, p.2).

La pulpa es considerada como el primordial subproducto del café, representa alrededor de 30% del peso seco de la baya completa o cerca de 40% en frutos frescos; por ello, en cada kilogramo de cerezas existe un contenido cercano de 430g de pulpa (Martínez He. Ag. Ro., 2018, p.2). La producción de café en Colombia cerró en 2019 en 14,8 millones de sacos de 60 kilos, donde el municipio Yotoco cuenta con un total de 1.364 hectáreas y ocupa el puesto número 17 en cuanto a la producción de café en el Departamento; la Vereda el Bosque- municipio Yotoco tiene una producción de café cereza de aproximadamente 800.000 kilogramos anual, de los cuales cerca de 320.000 kilogramos corresponde a la pulpa de café.

La pulpa de café es un subproducto que genera gran afectación en la contaminación de suelos y fuente hídricas si no es tratado correctamente, una de las opciones de funcionamiento de este residuo orgánico es el compostaje, la pulpa del café tiene propiedades adecuadas para el proceso de compostaje debido a que tiene un elevado contenido de glucosa (fuente energética),

una buena interacción carbono: nitrógeno (25-30:1) y un tamaño de partícula correcto (Pierre Ro. Qui. Gra., 2008, p.2).

En la tabla 1 se describe el contenido nutricional de la pulpa del café y en la tabla 2 se evidencia la composición físico-química de la Pulpa de Café.

Tabla 1. Contenido nutricional de la pulpa del café (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	1600-4786 ppm
Manganeso	72.80-1124 ppm
Zinc	32.20-40.50 ppm
Cobre	23.00 ppm
Relación C/N	16 a 20 ppm

Tabla 2. Composición físico-química de la Pulpa de Café

Fuente	Humedad	pH	Cenizas	Grasas	Proteína
Blandón Castaño , G., Dávila Arias, M. T., & Rodríguez Valencia, N. (s.f.)	74,83%	4,40	6,66%	1,60%	11,00%
Braham, J. E., & Bressani R. (S.f).	76,7%	-	8,3%	-	2,1%

5.2 Compostaje como proceso bioxidativo y estabilización de residuos orgánicos

El compostaje nos brinda la oportunidad de manera segura la conversión de residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola, por otro lado, la FAO define como compostaje la mezcla de residuos orgánicos en proceso de desintegración dada en medios aeróbicos que es utilizado para regenerar la composición del suelo y aportar nutrientes (Román Mar. Pa., 2013, p.22).

El compostaje es un proceso de descomposición natural, en el cual actúan un sin fin de microorganismos aerobios que necesitan una humedad apropiada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido; entra en una fase termófila dando paso a un proceso de biodegradación de dióxido de carbono, agua y minerales, además la materia orgánica cuenta con una estabilidad libre de patógenos, es implementado como abono acondicionador de suelos en las actividades agrícolas (Sánchez, 2018, p.22).

5.2.1 Fases del compostaje según su temperatura

El progreso de la temperatura en el transcurso del compostaje resalta las distintas fases: mesófila, termófila o de higienización, de enfriamiento y de maduración; además Sánchez (2018) define que " las circunstancias aerobias y el tipo de microorganismo establece el nivel evolutivo del material compostado" (p.22).

5.2.1.1 Fase mesófila.

En esta fase inicia a temperatura ambiente el compostaje, transcurriendo los días, la temperatura asciende a 45°C, este incremento se produce por la actividad microbiana, en este

punto los microorganismos utilizan fuentes sencillas de nitrógeno y carbono produciendo calor (Román Mar. Pa., 2013, p.23).

Román Mar. Pa., (2013) señala que "...La desintegración de compuestos solubles, como azúcares, crea ácidos orgánicos y, por consiguiente, el pH puede disminuir cerca de 4.0 o 4.5, esta fase tiene una duración entre dos y ocho días" (p.23).

5.2.1.2 Fase termófila o de higienización.

Una vez que el material compostado logra temperaturas por encima de los 45°C, los microorganismos mesófilos son sustituidos por aquellos que resisten a altas temperaturas, como las bacterias termófilas, las cuales trabajan haciendo más fácil la desintegración de fuentes más complicadas de C, como la celulosa y la lignina, dichos microorganismos trabajan convirtiendo el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio asciende, específicamente, desde los 60°C surgen las bacterias que generan esporas y actinobacterias, que son las encargadas de la descomposición de las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos (Castro, 2018, p.17).

Por otro lado, Román Mar. Pa., (2013) menciona que "esta fase también puede ser llamada etapa de higienización, debido al calor que se produce deshace bacterias y contaminantes de procedencia fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*" (p.23).

Esta fase es fundamental puesto que las temperaturas por arriba de los 55°C, eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que tienen la posibilidad de hallarse en el material de partida, dando sitio a un producto higienizado (Román Mar. Pa., 2013, p.23).

5.2.1.3 Fase de enfriamiento.

En la presente etapa se extinguen las fuentes de carbono y, en particular el nitrógeno en el material compostado, y de nuevo la temperatura se reduce hasta los 40-45°C, en el transcurso de esta etapa, continúa la desintegración de polímeros como la celulosa, y surgen hongos notorios a primera vista, al descender de 40 °C (Román Mar. Pa., 2013, p.24).

Román Mar. Pa., (2013) indica que "...los organismos mesófilos inician nuevamente su actividad y el pH del medio baja sutilmente, aun cuando generalmente el pH se preserva sutilmente alcalino, ésta etapa de enfriamiento necesita de numerosas semanas y puede ser similar con la etapa de maduración" (p.24).

5.2.1.4 Fase de maduración.

Considerada la fase final, además, Román Mar. Pa., (2013) afirma que "es un periodo en el cual la temperatura ambiente perdura durante meses, presenciando actitudes secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos" (p.24).

Docampo (2013) indica que, al terminar la fase termófila, la temperatura del compostaje disminuye y es imposible restaurarla; los microorganismos mesófilos son los responsables de la degradación, dando lugar a un largo periodo de maduración y propiciando condiciones para que la temperatura se aproxime a la ambiental, debido a la actividad microbiana las reacciones bioquímicas se siguen generando, para de esta manera obtener un producto final estable y óptimo para el uso en actividades agrícolas (Docampo, 2013, p.24).

5.2.2 Parámetros de control durante el proceso de compostaje

El proceso de compostaje es un proceso biológico desarrollado por microorganismos, los componentes que están afectando a los microorganismos son los que necesitan mayor control en todo el proceso, entre éstos componentes permanecen: la aireación, el contenido en humedad y temperatura, pH y la relación C/N (Negro Vi. Ai. Al. Ci. Ga. La. Le. Me. Pa. So. To. Za., S.f, p.5).

5.2.2.1 Aireación

Ledezma (2009) define que "el compostaje es un proceso que se lleva a cabo bajo condiciones aerobias, por lo tanto, es fundamental la presencia de oxígeno para el crecimiento de los microorganismos; además se debe asegurar el oxígeno apto a los microorganismos donde se permita la liberación de dióxido de carbono producido" (p.29).

La aireación debería seguir estando en unos rangos apropiados teniendo presente los requerimientos de oxígeno varían en todo el proceso, son bajas en la etapa mesófila, obteniendo un máximo en la fase termófila y reduciendo de nuevo al finalizar el proceso (Ledezma, 2009, p.29).

Por otro lado, la aireación no se debe exceder, ya que puede provocar variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad, además, por lo que, al exceder la ventilación generaría evaporación que inhibiría la actividad microbiológica y lograr detener el desarrollo del compostaje, llevando a creer que el proceso había concluido, además el exceso de ventilación también aumentaría los gastos de producción (Negro Vi. Ai. Al. Ci. Ga. La. Le. Me. Pa. So. To. Za., S.f, p.5).

5.2.2.2 Humedad

Los componentes relacionados con la humedad total en una pila de compostaje están sujetos con el contenido de agua de las materias primas, la actividad microbiana, el nivel de oxígeno y la temperatura; además las actividades microbianas en relación con el crecimiento y división celular necesitan un ambiente óptimo de humedad (Casco y Herrero, 2008, p.97).

Casco y Herrero (2008) indica que "la humedad dentro de la pila de compostaje es indispensable para el transporte de sustancias y nutrientes durante el proceso de compostaje siendo más fácil para los microorganismos" (p.97).

La disminución en la actividad microbiana y la bacteriana sería ocasionada si el contenido de humedad llega a estar por debajo del 40 – 45 %, esto se debe a que los hongos perduran biológicamente activos a humedades más bajas, no obstante, si la humedad está en niveles menores del 20% puede ocasionar daños en la actividad y consiguiente en el compostaje. También debemos tener presente que un exceso de agua como (>65% de humedad) llevaría a la afectación de oxígeno disponible en el compostaje y lograría iniciar condiciones de anaerobiosis y un lavado de nutrientes por lixiviación (Casco y Herrero, 2008, p.97).

5.2.2.3 Temperatura

Este parámetro interviene de manera crítica sobre la velocidad de desintegración de materia orgánica en el compostaje, las temperaturas recomendables durante el proceso están en rangos entre 45°C y 59°C; las temperaturas por debajo de 20°C detienen el desarrollo microbiano y eso conlleva a la desintegración de los materiales; sin embargo, si la temperatura es mayor a 59°C se inhibe el progreso de gran parte de los microorganismos o causa su eliminación, la cual conlleva a disminuir a tasa de descomposición microbiana (Casco y Herrero, 2008, p.96).

Los microorganismos conllevan a desintegrar la materia orgánica de manera eficaz cuando superan el límite de su rango de temperatura de crecimiento, ciertos datos señalan que el proceso de compostaje es auto limitante, es decir, que la generación y acumulación de calor no permite que las temperaturas medias superen los 60°C, siendo adecuada para garantizar la eliminación de patógenos tanto humanos como vegetales (Casco y Herrero, 2008, p.96).

5.2.2.4 pH

Casco y Herrero (2008) menciona que este parámetro al igual que la temperatura, su evolución durante el "...compostaje mantiene una curva típica dependiendo en la fase en la cual se encuentre; la actividad metabólica de los microorganismos en el compost propicia alteraciones o cambios en los datos de pH, dependiendo del pH de las materias primas..." (p.98).

Las bacterias optan por vares de pH entre 6 y 7,5; mientras que los hongos son tolerantes a rangos que oscilan entre 5,5 y 8, si el pH desciende por debajo de 6, los procesos de desintegración microbiana, especialmente las bacterias, se frenan; los valores de pH cercanos o superiores a 9, benefician la transformación del nitrógeno en amonio, perjudicando de forma negativa al crecimiento y actividad de los microorganismos (Casco y Herrero, 2008, p.98).

5.2.2.5 Relación C/N

La relación C/N de la materia a compostar es una variable fundamental para llevar un control y así obtener una fermentación adecuada y, por ello, un producto final de cualidades adecuadas a lo largo del compostaje, esta relación se hace cada vez menor, la relación óptima de C/N inicial se comprende entre 25- 35, si es mayor a 35, el proceso de fermentación se extiende ampliamente hasta que la abundancia de carbono es oxidada y la relación C/N baja a valores convenientes para el metabolismo, y si es menor de 25 se generan mermas considerables de nitrógeno en forma de amoniaco (Negro Vi. Ai. Al. Ci. Ga. La. Le. Me. Pa. So. To. Za., S.f, p.8).

Cuando la relación C/N es superior se puede disminuir artificialmente, retirando celulosa, es decir, disminuyendo el carbono o aportando al aumento del contenido de nitrógeno, por ejemplo, adicionando una fuente nitrogenada como residuos de actividades pecuarias (Negro Vi. Ai. Al. Ci. Ga. La. Le. Me. Pa. So. To. Za., S.f, p.8).

5.2.2.6 Tamaño de partícula

La actividad microbiana tiene relación con el tamaño de la partícula, esto es, con el fácil acceso al sustrato, es decir, si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual provee a la asequibilidad del sustrato, para tener en cuenta, el tamaño adecuado de los materiales para entablar el compostaje es de 5 a 20 cm (Román Mar. Pa., 2013, p.30).

Por otro lado, la concentración del material y la aireación de la pila, están relacionados con el tamaño de la partícula, donde la densidad aproximadamente es de 150 -250 kg/m³, a medida que mejora el proceso de compostaje, el tamaño se reduce y por esa razón la densidad aumenta 600-700 kg/m³ (Román Mar. Pa., 2013, p.30).

5.2.3 Residuos utilizados en el proceso de compostaje

El desarrollo del compostaje de la pulpa de café, se ejecutó realizando una mezcla con otros tipos de residuos los cuales fueron; residuos de producción avícola como la pollinaza, residuos orgánicos domésticos, residuos de cultivo específicamente el vástago de plátano, además se utilizó un inóculo microbiano orgánico (*Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris*), a continuación, se describe detalladamente cada uno de los residuos utilizados en el proceso de compostaje.

5.2.3.1 Residuo de producción avícola (Pollinaza)

Es el estiércol producidas por las aves de engorde, la cual constantemente se muestra mezclada con materiales como aserrín de madera y cascarilla de arroz, para posteriormente ser utilizada como cama para las mismas explotaciones avícolas, la pollinaza es una materia prima que es usada para preparación de abonos orgánicos, contribuyendo al mejoramiento de la calidad del suelo, debido a su elevado contenido de nitrógeno, fósforo y es moderadamente húmedo (Arévalo y Meneses, 2017).

“La composición de la pollinaza es muy variable” (2015, Paz Ynofuente). A continuación, en la tabla 3 se presenta la composición promedio.

Tabla 3: Composición química de la pollinaza (Cordero & Morales, 2007)

Nutriente	Contenido
Materia seca %	84,7
Proteína cruda %	31,3
Proteína verdadera %	16,7
Proteína digestible %	23,3
Fibra cruda %	16,8
Grasa cruda %	3,3
Elementos libres de Nitrógeno %	29,5
Cenizas %	15,0
Total de nutrientes digestibles %	72,5
Energía digestible Kcal/Kg	2440
Calcio %	2,37

Fosforo %	1,8
Magnesio %	0,44
Manganeso mg/Kg	225
Sodio %	00,54
Potasio %	1,70
Cobre mg/Kg	982
Zinc mg/Kg	235

5.2.3.2 Residuos orgánicos (domésticos)

Se emplean los residuos de comida, que son esos que componen la parte orgánica de los residuos de la preparación de alimentos, fundamentalmente definen que son todos los restos de comida, alimentos que se encuentran dañados, los tipos de residuos conformados por desperdicios de comida tienen la posibilidad de clasificar en residuos crudos y cocinados, debido a que muestran propiedades químicas y físicas propias, que son diferenciados entre sí, como el pH y la humedad, cada variable se procede de distinta forma, siendo dependiente del sustrato que se encuentre procesando, por lo que involucra un funcionamiento distinto para cada residuo (Garita y Rojas, s.f, p.4).

5.2.3.3 Residuos de Cultivo

Los residuos vegetales se hallan en la producción agrícola, correspondientes a las podas de plantas y su respectiva sustracción, una vez que la cosecha solamente tiene presente los frutos o partes de la planta; que padecen males y son imposibles de comercializar; desyerbe; y otro tipo de actividad complementaria al desarrollo del cultivo que produzca supresión de plantas (Chávez y Rodríguez, 2016).

5.2.3.3.1 Vástago de plátano

Es la parte aérea (vástago) la cual realiza su crecimiento desde un cormo siendo el tallo real de la planta y está localizado por abajo del grado del suelo, por ser una planta herbácea carece de un tronco y solo cuenta con unseudotallo alto y robusto, se compone por la lámina y el peciolo de la hoja, donde el peciolo consta de dos partes: la vaina y otra que une ésta con la lámina; la vaina es la parte del peciolo que se ensancha y en forma apretada llevando a la formación del vástago (Díaz & Barrios, 2019). A continuación, en la tabla 4, se evidencia la caracterización fisicoquímica del vástago de plátano.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica de vástago de plátano (García, Jiménez, García-Alzate, & Jaramillo-Echeverry, 2018)

Parámetro	Vástago
Potencial de hidrógeno (pH bh)	5,61 ± 0,067
Acidez titulable (% bh)	0,64 ± 0,021
Humedad (% bs)	8,30 ± 0,562
Cenizas (% bs)	11,53 ± 0,253
Materia Orgánica (% bs)	80,17 ± 0,428
Carbono	46,50 ± 0,248

5.2.3.4 Microorganismos eficientes (E.M)

Son un cultivo tecnológico que junta diversas especies de microorganismos convenientes aeróbicos y anaeróbicos, el inicio importante de esta técnica incorpora un conjunto de microorganismos beneficiosos para contribuir al mejoramiento de las propiedades del suelo,

renovando la efectividad del uso de la materia orgánica por las plantas (Guía de la Tecnología de EM, s.f, p.2).

Los E.M. son una conjunción de diversos microorganismos favorecedores (caldo microbiano), de procedencia natural, que en conjunto generan a temperaturas propicias un aprovechamiento de los elementos de la materia a compostar para mejorar el proceso de compostaje, contiene primordialmente organismos benéficos de cuatro géneros importantes (Cajahuanca, 2016, p.39).

- Bacterias fototróficas
- Levaduras
- Bacterias productoras de ácido láctico
- Hongos de fermentación

Dichos microorganismos efectivos una vez que acceden en contacto con materia orgánica secretan sustancias provechosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quilatados y básicamente sustancias antioxidantes, además, por medio de su acción cambian la micro y macroflora de los suelos y regeneran la igualdad natural, de forma que los suelos responsables de patologías se transformen en suelos supresores de patologías, y ésta se convierta paralelamente en tierra (suelo) azimogénico; por medio de los efectos antioxidantes inician la degradación de la materia orgánica e incrementan el contenido de humus (Saintmartin, 2007, p.1).

5.2.3.4.1 Inoculo Microbiano Orgánico (*lactobacillus casei*, *saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris*)

Dichos microorganismos orgánicos, una vez que acceden en contacto con materia orgánica secretan sustancias benéficas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quilatados y

básicamente sustancias antioxidantes, además, por medio de su acción cambian la micro y macroflora de los suelos y renuevan la igualdad natural, de forma que los suelos responsables de patologías sean convertidos en suelos supresores de patologías, y ésta se transforme paralelamente en suelo azimogénico; por medio de los efectos antioxidantes inicien la degradación de la materia orgánica e incrementen el contenido de humus (Portal Tecno Agrícola, s.f)

5.2.3.4.1.1 Microorganismos eficientes: *lactobacillus casei*

Las bacterias ácido lácticas generan ácido láctico desde azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras; a partir de períodos viejos, varios alimentos y bebidas como el yogurt y los pepinillos son elaborados utilizando bacterias ácido lácticas, que poseen la capacidad de destruir microorganismos responsables de patologías como Fusarium, los cuales surgen en sistemas de producción continúa. Las especies como Fusarium suavizan las plantas cultivadas, exhibiéndolas a patologías y a poblaciones crecientes de plagas como los nematodos, la utilización de bacterias ácido lácticas disminuye las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y diseminación de Fusarium, perfeccionando de esta forma el medio ambiente para el aumento de cultivos (Moreno, s.f, p.6).

5.2.3.4.1.2 Microorganismos eficientes: *saccharomyces cerevisiae*

Guía tecnológica de EM (s.f) señala que las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias de gran utilidad para el aumento de las plantas, desde aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica y las raíces de las plantas, las sustancias bioactivas como las hormonas y las enzimas originadas por las

levaduras inician la división activa celular y radical, estas secreciones también son sustratos útiles para el EM como las bacterias ácido lácticas y actinomicetes (p.4).

5.2.3.4.1.3 Microorganismos eficientes: *Rhodopseudomonas palustris*

Moreno (s.f) menciona que "las bacterias fotosintéticas son un conjunto de microorganismos independientes y autosuficientes; estas bacterias utilizan la luz solar y calor del suelo como fuentes de energía, además sintetizan sustancias útiles desde las secreciones de las raíces, materia orgánica o sulfuro de hidrógeno, " (p.6).

6. Marco Legal

Se busca que la comunidad de la vereda el Bosque – Municipio Yotoco, adquiera un conocimiento total y actualizado sobre la legislación ambiental, para dar cumplimiento a un adecuado procedimiento en el manejo de residuos, la protección y conservación de los recursos naturales, con el fin de evitar la contaminación y el deterioro de ecosistemas, específicamente las fuentes hídricas cercanas y el recurso suelo, además de contribuir en la prevención de posibles sanciones a los caficultores por parte de los entes de control ambiental de la región. En la tabla 5 se describe la normatividad ambiental.

Tabla 5. Normatividad ambiental

Norma	Aspecto de la norma
Decreto 2811 de 1974	El decreto indica la importancia de la conservación ambiental y la protección de los recursos naturales renovables.
Decreto 2811 de 1974	En el título VI enfatiza el uso, la conservación y preservación de las aguas.
Decreto 2811 de 1974	En la parte VII, título I, capítulo III, nos habla sobre la conservación y el uso de los suelos
Decreto 2811 de 1974	En la parte IV, Título III se dictan las disposiciones en cuanto al tema de los residuos sólidos su aprovechamiento y manejo, con el fin de prevenir, mitigar o eliminar la contaminación ambiental.

<p>Resolución 0631 de 2015 reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984</p>	<p>Permite el control de las sustancias contaminantes que caen en los cuerpos de agua vertidas, en este caso producidas por la actividad productiva del beneficio de café.</p>
<p>La Constitución Política De Colombia de 1991</p>	<p>El artículo 79; enfatiza la importancia de la comunidad en disfrutar de un ambiente sano, teniendo en cuenta la opinión de los mismo en la toma de decisiones lo cual no se vean afectados, por otro lado, se fomenta la educación ambiental, donde salga beneficioso la comunidad y el medio ambiente.</p>
<p>La Constitución Política De Colombia de 1991</p>	<p>El artículo 8, nos indica que es un deber del estado y de la comunidad de proteger el patrimonio natural.</p>
<p>La Constitución Política De Colombia de 1991</p>	<p>En el artículo 95; dice que como ciudadanos debemos preservar y cuidar por los recursos naturales y la conservación del ambiente.</p>
<p>Decreto 2202 de 1968</p>	<p>El cual establece el comercio de los abonos o fertilizantes químicos simples y compuestos, orgánicos naturales y reforzados, enmiendas y acondicionadores del suelo.</p>

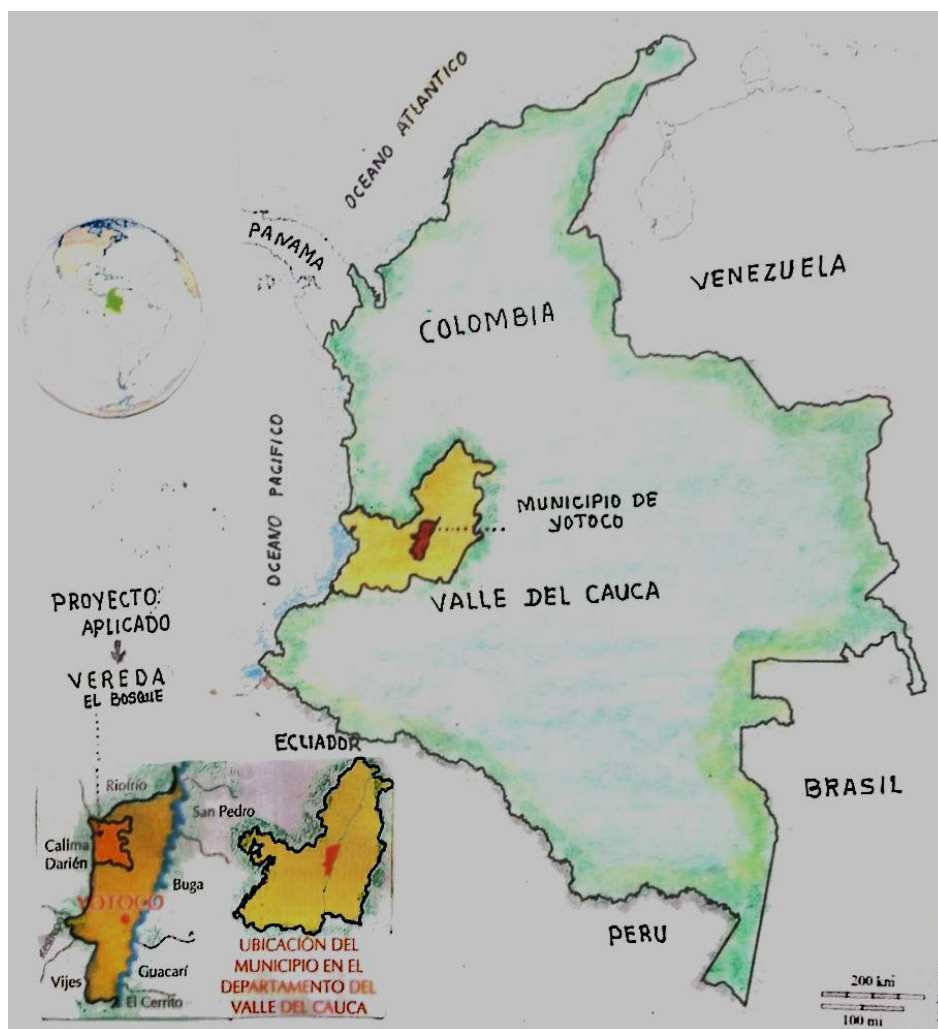
Decreto 1713 de 2002	El decreto menciona el aprovechamiento mediante la gestión integral de residuos sólidos por medio de un manejo integral, reincorporándose económicamente utilizando tratamientos físicos y químicos.
----------------------	--

7. Metodología

7.1 Localización.

La fase experimental para la evaluación de alternativas para el manejo del residuo de pulpa de café mediante proceso de compostaje se realizó en la finca Yemen, ubicada en la vereda El Bosque - Municipio Yotoco - Departamento del Valle del Cauca, con una altitud de 1700 msnm, latitud $3^{\circ} 58' 40''$ y longitud $76^{\circ} 25' 04''$. En la figura 1 se ilustra la localización del lugar experimental.

Figura 1. Localización de lugar experimental



Fuente: Elaboración Propia

7.2 Caracterización de residuos:

Esta caracterización se realizó por medio de un recorrido por la vereda El Bosque- Municipio Yotoco con el fin de establecer los indicadores socioeconómicos principales de la población y de esta manera se definieron los residuos orgánicos que fueron utilizados como parte de la mezcla para los tratamientos. Los residuos orgánicos que fueron objeto de investigación dentro del recorrido son producto de las actividades agrícolas (cultivos de propios de la región), pecuarias (producto de la explotación avícola en la región) y actividades domésticas.

7.3 Método de experimentación: Análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar

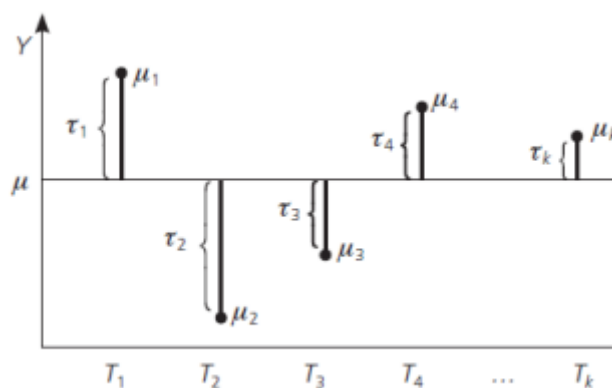
Erazo Henry (2019) afirma que "el diseño de experimentos se basa en decidir la manera más eficaz de hacer pruebas, para obtener información del proceso o sistema, que analizada estadísticamente da prueba objetiva que posibilita contestar la interrogante planteada" (p.32).

Yepes Víctor (2021) indica que "el diseño experimental completamente al azar es catalogado como el diseño de experimentos más sencillo, que consiste en la comparación de dos o más tratamientos, ya que solamente son consideradas dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio" (p.1).

Se emplea el análisis de la varianza (ANOVA) con el fin de demostrar si hay variaciones en las medias, primordialmente este análisis consiste en la separación de la contribución de cada fuente de variación total observada; no obstante, éste análisis está sujeto a los siguientes supuestos que deben comprobar: normalidad varianza constante (igual varianza en los tratamientos), independencia (Yepes Víctor, 2021, p.1). Además, Erazo Henry (2019) menciona que "para el análisis de varianza, de un factor o diseño completamente al azar, se separan la variabilidad por los tratamientos y la debida al error" (p.35).

El modelo que describe este experimento y cada observación es el siguiente: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$, en la figura 2 se puede ilustrar.

Figura 2. Representación de las medias y los efectos de los tratamientos



Fuente: Erazo Henry (2019)

7.4 Establecimiento de ensayo y conducción del experimento:

El desarrollo del experimento empezó con la recolección de los residuos orgánicos seleccionados, se establecieron 3 tratamientos (T1, T2 y T3) y tres repeticiones (R1, R2 y R3), donde el tratamiento T1 corresponde al compostaje de la pulpa de café con residuos orgánicos domésticos, por el contrario, en el tratamiento T2 la pulpa de café es compostada con residuos pecuarios como la pollinaza y en el tratamiento T3 sumado a la pulpa de café son utilizados los residuos de cosecha como el vástago de plátano, cada uno con una dimensión de 80 x 80 cm, separados por hojas de PVC y con un espacio libre que facilitó la movilidad de las pilas. Después de construido se realizó el seguimiento de los parámetros y variables a cada uno de los tratamientos.

Las longitudes del lugar en el que se ejecutó el ensayo experimental fue de 1,70m de alto y de 4 x 4m de largo y ancho, el piso fue en cemento con el fin de evitar contaminación por

posibles lixiviados generados en el proceso de compostaje y estuvo cubierto por un plástico industrial que ayudó para mantener una temperatura apropiada en las pilas. En la figura 3 se observa el adecuamiento y diseño de las pilas de compostaje y en la figura 4 se muestra el establecimiento de pilas de compostaje de la pulpa de café.

Figura 3. Adecuamiento y diseño de las pilas de compostaje



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Establecimiento de pilas de compostaje de la pulpa de café



Fuente: Elaboración propia

Para la implementación de este proyecto se empleó un diseño experimental completamente al azar, los tratamientos fueron definidos de acuerdo con la fácil asequibilidad de los residuos orgánicos a emplear en el lugar de estudio y las cantidades utilizadas para cada tratamiento fueron establecidas con base a lograr relación óptima de C: N, como se ilustra y específica en la tabla 6.

Tabla 6. Caracterización de residuos

Tratamiento	Composición
Tratamiento 1 (T1)	Pulpa de Café: 10 Kg Residuos Orgánicos de Cocina: 4 Kg Melaza: 1 Kg Inoculo Microbial Para Compostaje (<i>Lactobacillus Cassei</i> , <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> , <i>Rhodopseudomona Palustris</i>): 80 ml
	Pulpa de Café: 10 Kg Pollinaza: 4 Kg

Tratamiento 2 (T2)	Melaza: 1 Kg Inoculo Microbial Para Compostaje (<i>Lactobacillus Cassei</i> , <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> , <i>Rhodopseudomona Palustris</i>): 80 ml
Tratamiento 3 (T3)	Pulpa de Café: 10 Kg Residuos de Cosecha (Vástago de Plátano Dominic Harton): 4 Kg Melaza: 1 Kg Inoculo Microbial Para Compostaje (<i>Lactobacillus Cassei</i> , <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> , <i>Rhodopseudomona Palustris</i>): 80 ml

Fuente: Elaboración propia

La aplicación del inóculo y activación de microorganismos se hace con el fin de acelerar el proceso de fermentación de los residuos orgánicos empleados en el compostaje, se aplicó 80 ml para cada uno de los tratamientos de un inóculo microbial compuesto por una mezcla de microorganismos de bacterias y hongos descomponedores de materia orgánica y para la activación de estos se utilizó una fuente de carbohidratos de fácil asimilación como lo es la melaza, para lograr la aceleración de los microorganismos en el experimento se utilizó 1 kg de melaza para cada tratamiento. En la figura 5 se ilustra el inóculo microbial que se utilizó en el compostaje, y en la figura 6 se evidencia la melaza.

Figura 7. Medición de los parámetros pH, Temperatura y contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

7.6 Evaluación de factor social.

Mediante una indagación a través de diálogos y conversatorios con los caficultores de la región, expresaron que las principales actividades económicas y a su vez generadoras de residuos orgánicos de la zona están comprendidas entre la actividad agrícola platanera y la actividad pecuaria avícola, sin dejar a un lado los residuos orgánicos domésticos que en la mayoría de los casos no son aprovechados, a través de esta caracterización se realiza la elección de estos residuos para ser las principales alternativas de compostaje con la pulpa de café, teniendo en cuenta que los materiales elegidos son asequibles para los caficultores.

El factor social es de suma importancia, pues lo que se buscó fue garantizar el máximo aprovechamiento de los subproductos y a su vez contribuir con la disminución de costos por concepto de fertilización, obteniendo un compostaje orgánico que sería ser utilizado como suplemento nutricional en los cultivos agrícolas de la región.

7.7 Socialización de resultados.

Después de la obtención de resultados de las variables fisicoquímicas y teniendo en cuenta el factor social se realizó la socialización mediante una presentación a los caficultores y personas interesadas de la vereda El Bosque - Municipio Yotoco, esto con el fin de compartirles la alternativa seleccionada como la más viable y el proceso a la cual fue sometida para determinar porque fue la más adecuada para dar manejo y aprovechamiento al residuo de la pulpa de café. (Ver anexo 4). Y en la figura 8 se evidencia la socialización de resultados con los caficultores y personas interesadas de la vereda El Bosque – Municipio Yotoco.

Figura 8. Socialización de resultados con los caficultores y personas interesadas de la vereda El Bosque – Municipio Yotoco



Fuente: elaboración propia

8. Resultados Y Discusión

Desde el inicio del experimento hasta la fase final, se realizó un seguimiento a los tres tratamientos donde se tomaron datos de los parámetros fisicoquímicos temperatura, pH y porcentaje de Humedad, a partir de los resultados obtenidos se realizó detalladamente su respectivo análisis.

8.1 Análisis del Parámetro Potencial de Hidrógeno (pH)

Según el análisis de varianza ANDEVA realizado, los tres tratamientos evaluados arrojaron un pH relativamente ácido al inicio, esto debido a que las primeras moléculas que se liberan durante la degradación de la materia orgánica son ácidos orgánicos de bajo peso molecular. En las primeras semanas del compostaje se determinó un pH en torno a 5 o menos en los tres tratamientos, esto debido a la presencia de ácidos orgánicos simples. Posteriormente en la tercera semana donde comenzó la fase termofílica, la temperatura aumenta por la aparición de organismos mesofílicos, dando lugar al aumento del pH acercándose a valores que oscilan entre 6.0 y 6.5 respectivamente.

A partir de la 3 semana hasta la semana 13, el tratamiento T1 se mantuvo casi sin variación en cuanto a los resultado de pH, comparado con los tratamientos T2 y T3, sin embargo, en la semana 11 y semana 14 se evidenció un descenso en los resultados de pH del tratamiento T3, según (García, Jiménez, García-Alzate, & Jaramillo-Echeverry, 2018) esta variación se presentó debido a que el vástago del plátano posee un pH ligeramente ácido con valores que oscilan entre $5,61 \pm 0,067$, sin embargo y pese a esta variación la composición de estos residuos cumplieron con las características necesarias como posible sustrato en la producción de compostaje de la pulpa de café (García, Jiménez, García-Alzate, & Jaramillo-Echeverry, 2018).

El pH ligeramente ácido presentado en el tratamiento T3 no tiene gran influencia en el proceso de compostaje ya que el rango de pH tolerado por las bacterias es en general relativamente extenso, existiendo grupos fisiológicos acondicionados a valores extremos, no obstante, un valor de pH cercano al valor neutro, asegurando el desarrollo de la gran parte de los grupos fisiológicos (Márquez Bl. Ca., s.f, p.3)

A partir de la semana 14 hasta la fase final del experimento (semana 16) se evidenció de manera general el ascenso en cuanto a los resultados del parámetro pH de los tres tratamientos, siendo el tratamiento T1 el que más se acercó a un pH neutro, comparado con los tratamientos T2 y T3. En la tabla 7 se describe los datos del parámetro potencial de Hidrógeno (pH); y en la gráfica 1 se evidencia los resultados del parámetro pH.

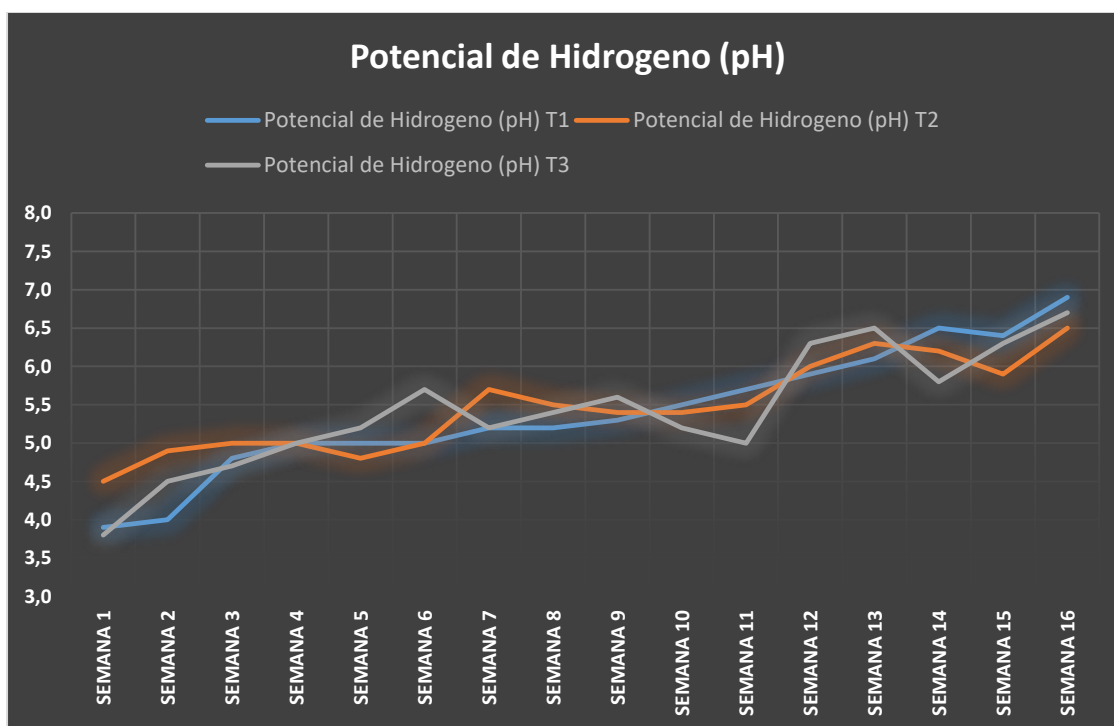
Tabla 7. Datos Potencial de Hidrógeno (pH)

Potencial de Hidrogeno (pH)			
	T1	T2	T3
Semana 1	3,9	4,5	3,8
Semana 2	4,0	4,9	4,5
Semana 3	4,8	5,0	4,7
Semana 4	5,0	5,0	5,0
Semana 5	5,0	4,8	5,2
Semana 6	5,0	5,0	5,7
Semana 7	5,2	5,7	5,2
Semana 8	5,2	5,5	5,4
Semana 9	5,3	5,4	5,6
Semana 10	5,5	5,4	5,2

Semana 11	5,7	5,5	5,0
Semana 12	5,9	6,0	6,3
Semana 13	6,1	6,3	6,5
Semana 14	6,5	6,2	5,8
Semana 15	6,4	5,9	6,3
Semana 16	6,9	6,5	6,7

Fuente: elaboración propia

Gráfica 1 Gráfica de resultados Potencial de Hidrógeno (pH)



Fuente: elaboración propia

8.2 Análisis del Parámetro de Temperatura (°C)

El aumento de la temperatura influye notoriamente durante el desarrollo del compostaje, pues se ha evidenciado que pequeñas alteraciones de temperatura pueden afectar la actividad microbiana comparado a pequeños cambios de los demás parámetros como la humedad, pH o C/N (Márquez, Blanco, & Capitán).

La influencia de los tratamientos sobre la variable de Temperatura arrojó diferentes resultados significativos que durante la fase experimental alternaron entre 22°C – 60°C, donde se sigue un esquema parecido a los característicos de los procesos de compostaje y se puede evidenciar la sucesión de las fases mesofílica, termofílica y de enfriamiento, siendo el tratamiento T2 el que experimentó la temperatura más alta llegando a los 60°C aproximadamente, este aumento de temperatura puede suceder debido a que la paja es una fuente de proteínas y minerales, principalmente de nitrógeno amoniacal y nitrógeno no proteico (ácido úrico).

Cada especie de microorganismo tiene una especificación en cuanto al rango de temperatura precisa en el que su actividad puede ser mayor o menor, y por ende, más o menos efectiva. De esta manera, se establece un rango de 15-40 °C para los microorganismos mesófilos y 40-70 °C para los termófilos. Así mismo, por el desarrollo de la temperatura se establece la eficacia y el grado de estabilidad al que ha llegado el proceso, debido a que existe una relación directa entre la temperatura y la importancia de la descomposición de la materia orgánica (Márquez, Blanco, & Capitán).

El tratamiento T3, mostró resultados bajos en comparación con los tratamientos T1 y T2, esto debido a que el sustrato utilizado como el vástago de plátano posee un alto contenido de humedad, lo cual ocasionó que no se generará un intercambio efectivo de oxígeno y por lo tanto, se desarrollan procesos fermentativos tipo anaeróbicos que impiden o retrasan el aumento de la

temperatura y por ende la acción de bacterias hemofílicas, los actinomicetos, y los hongos termofílicos encargados de producir la máxima degradación y transformación de la materia orgánica.

La fase de enfriamiento se define por una disminución de la actividad microbiana y por el reemplazo de los organismos termofílicos por organismos mesofílicos (bacterias y hongos) (Márquez, Blanco, & Capitán), esta fase tuvo lugar a partir de la 6 semana, donde los tres tratamientos mostraron un procesos de estabilización y una reducción de temperatura que fluctuaba entre los 20 °C y 30 °C, aproximándose a valores de temperatura ambiente. En la tabla 8 se describe los datos del parámetro temperatura (°C), y en la gráfica 2 se evidencia los resultados del parámetro temperatura.

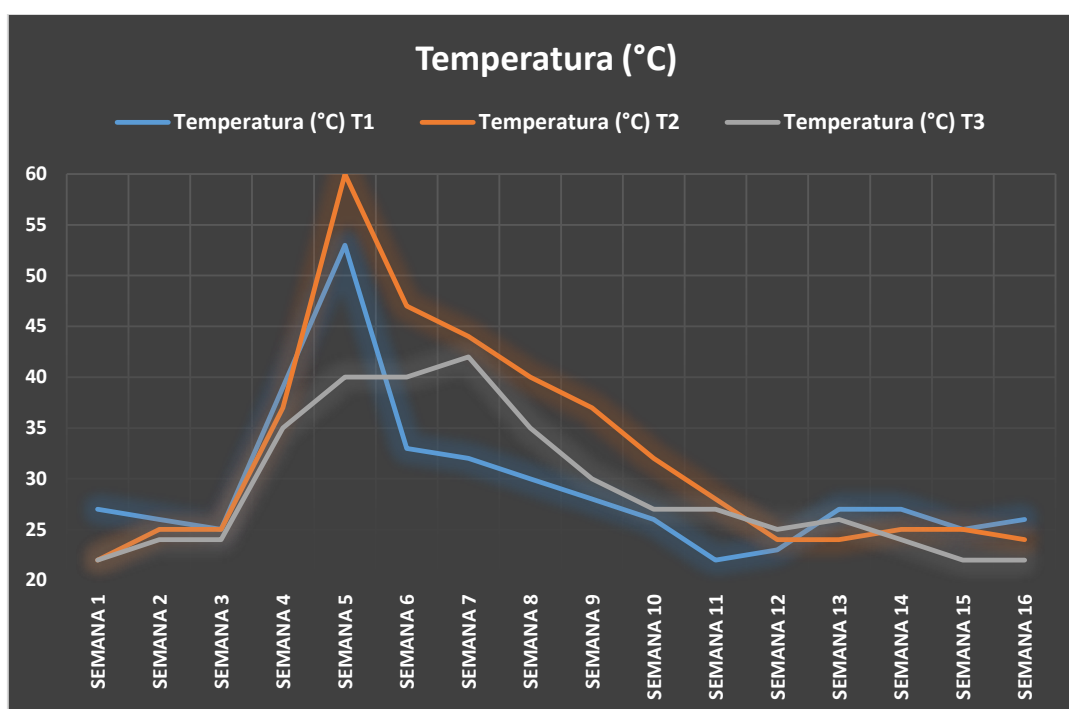
Tabla 8. Datos Temperatura (°C)

Temperatura (°C)			
	T1	T2	T3
Semana 1	27	22	22
Semana 2	26	25	24
Semana 3	25	25	24
Semana 4	39	37	35
Semana 5	53	60	40
Semana 6	33	47	40
Semana 7	32	44	42
Semana 8	30	40	35
Semana 9	28	37	30
Semana 10	26	32	27

Semana 11	22	28	27
Semana 12	23	24	25
Semana 13	27	24	26
Semana 14	27	25	24
Semana 15	25	25	22
Semana 16	26	24	22

Fuente: elaboración propia

Gráfica 2. Gráfica de resultados Temperatura (°C)



Fuente: elaboración propia

8.3 Análisis del Parámetro de % Humedad

De acuerdo al análisis ANDEVA ejecutado, los tres tratamientos evaluados obtuvieron resultados notables a nivel general, en su fase inicial (semana 1 y semana 2) el tratamiento T3 obtuvo el mayor porcentaje de humedad a comparación con los tratamientos T1 y T2, alcanzando

en la semana 1 un valor de humedad del 63% y la semana 2 un valor de humedad del 64% evidenciándose el sobrepaso del nivel de humedad. Según (Conejo, 2016), cuando el contenido de humedad supera el 60% los nutrientes se lixivian, la porosidad disminuye y se producen malos olores debido a las condiciones anaerobias; el porcentaje de humedad del tratamiento T3 se debe a que el vástago del plátano es una materia altamente húmeda, según (García, Jiménez, García-Alzate, & Jaramillo-Echeverry, 2018) indica que el porcentaje de humedad es de $8,30 \pm 0,562$.

En la semana 5 (fase termófila) en el tratamiento T2 se evidenció la disminución de humedad (53%), donde se implementó la pollinaza, a raíz de ello se concluyó que la pollinaza se evapora reduciendo su nivel de humedad, sin embargo, este resultado no provocó daños en el compostaje. A partir de la semana 3 hasta la semana 16 (fase de maduración) los tres tratamientos (T1, T2 Y T3), se mantuvieron con un porcentaje válido de humedad que variaba entre el 55% a 60%. En la tabla 9 se describe los datos del parámetro humedad (%), y en la gráfica 3 se evidencia los resultados del parámetro humedad.

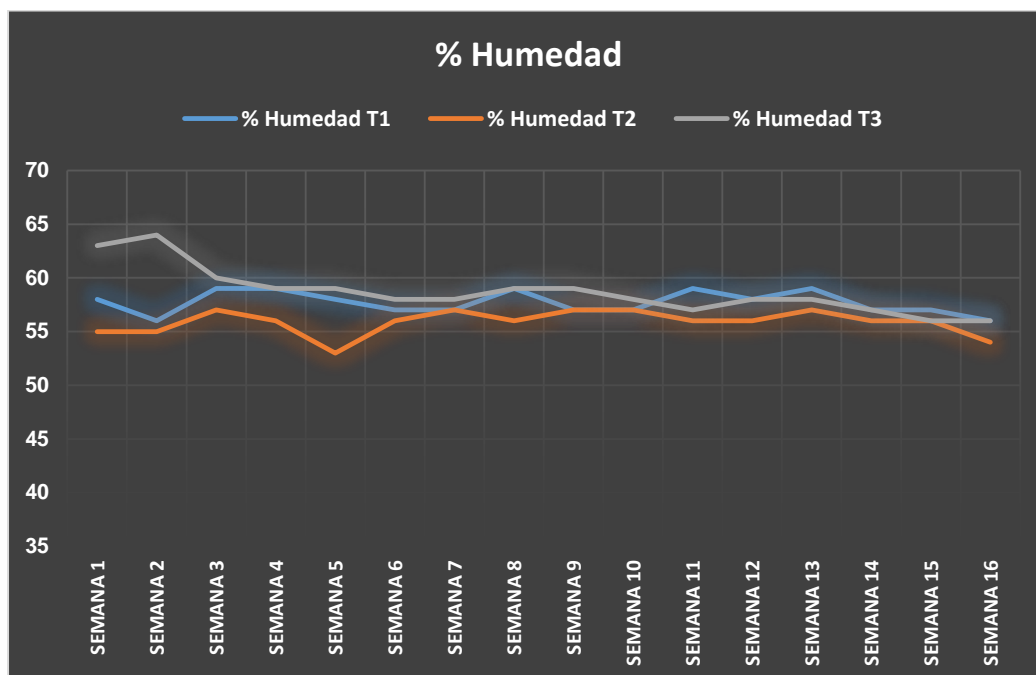
Tabla 9. Datos Humedad (%)

% Humedad			
	T1	T2	T3
Semana 1	58	55	63
Semana 2	56	55	64
Semana 3	59	57	60
Semana 4	59	56	59
Semana 5	58	53	59
Semana 6	57	56	58
Semana 7	57	57	58

Semana 8	59	56	59
Semana 9	57	57	59
Semana 10	57	57	58
Semana 11	59	56	57
Semana 12	58	56	58
Semana 13	59	57	58
Semana 14	57	56	57
Semana 15	57	56	56
Semana 16	56	54	56

Fuente: elaboración propia

Gráfica 3. Gráfica de resultados Humedad %



Fuente: elaboración propia

8.4 Análisis factor social

La pulpa de café es un subproducto que contiene altos índices de contaminación en aguas y suelos si no es tratada adecuadamente; la vereda El Bosque ubicada en el municipio de Yotoco (Valle del Cauca) tiene como principal actividad económica la explotación de café, pero las fincas productoras no cuentan con procesos de tratamiento de residuos y el proceso de producción empleado como lo es el beneficio húmedo del café (PBH), además de requerir grandes volúmenes de agua, genera afectaciones ambientales principalmente con los altos volúmenes de subproductos generados como la pulpa de café.

A través de este proyecto se realizó la evaluación de tres tipos de tratamientos de compostaje de pulpa de café, con residuos orgánicos de actividades agrícolas, pecuarias y domésticas que se destacan en la región. Estos tratamientos muestran resultados atípicos y variables, pero se encuentran dentro de los factores recomendables para un compostaje óptimo de la pulpa de café, al obtener resultados favorables por parte de los tres tratamientos evaluados se estableció con los caficultores de la región la facilidad que tienen a la hora de conseguir los materiales para llevar a práctica el compostaje, la principal actividad económica de la región es agrícola y por ende predomina la explotación de cultivos como el plátano y el café donde la mayoría de agricultores realizan comúnmente una asociatividad entre estos dos cultivos, de acuerdo con lo anterior el tratamiento T3 brinda la posibilidad a los caficultores de compostar la pulpa de café mediante una alternativa económica y de fácil acceso, evidenciando que existe una gran viabilidad económica y ambiental con el aprovechamiento de los subproductos como la pulpa de café que al ser compostada con residuos orgánicos provenientes de la región, será utilizada a su vez como complemento en la fertilización de los cultivos agrícolas, ayudando en la disminución de costos de los caficultores por concepto de fertilización, por lo que si se emplean 8 fertilizaciones

químicas al año ya 3 de esas serán con el compostaje de pulpa de café producido por el propio caficultor, reemplazando un significativo número de fertilizaciones químicas realizadas durante el año.

Al existir esta disminución en cuanto al empleo de fertilizantes químicos se está mitigando de manera directa la disminución de impactos ambientales causados a fuentes hídricas y suelos, contribuyendo a la preservación de los recursos naturales, además, de tener un efecto positivo en la salud de los caficultores, pues se ha establecido que el uso indiscriminado de fertilizantes químicos trae consigo graves afectaciones sobre la salud de las personas, mediante el compostaje de la pulpa de café como alternativa natural se busca brindar una garantía de salud y sostenibilidad.

8.5 Discusión general

La pulpa de café de la zona de estudio, se ve representada como el desecho más molesto, de mayor volumen y comúnmente uno de los principales contaminantes de fuentes hídricas al no realizarse un adecuado tratamiento, por otra parte, el plátano, ha sido un cultivo que no se ha explotado eficientemente por parte de los agricultores pues comúnmente después de brindar su cosecha la planta es cortada y dejada como abono para el mismo cultivo y este mal aprovechamiento del residuo, al igual que la pulpa de café, puede causar contaminación de suelos, aguas subterráneas, proliferación de enfermedades y bacterias por su proceso de descomposición abierta y sin ningún tipo de control.

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta los resultados fisicoquímicos de las variables evaluadas y el factor social de la región, es considerable, que realizar el compostaje de pulpa de café con residuos de actividades agrícolas como el vástago de plátano, es una alternativa con un alto grado de viabilidad ya que permite realizar el aprovechamiento de dos subproductos, esto debido a la asociatividad de cultivos que se practica en la región.

A partir de los resultados obtenidos de los tres tratamientos (T1, T2, T3), se evidencia que todos se encuentran dentro de los límites normales de pH, % Humedad y Temperatura, en este último parámetro el T3 fue el que marcó una mayor diferencia en relación con el tratamiento T1 y T2, pues una temperatura apropiada para la eliminación de patógenos y parásitos oscila entre los 35 – 40 °C y el tratamiento T3 obtuvo temperaturas de 22 °C siendo la mínima y 42 °C siendo la máxima, temperaturas relativamente bajas comparadas con las de los tratamientos T1 y T2, esto debido a que el sustrato utilizado como el vástago de plátano posee un alto contenido de humedad, además de las condiciones climáticas de la zona que también pudieron influir sobre este resultado, pues la temperatura promedio en la cual se llevó a cabo el proceso de experimentación fue de 22 °C, por lo que el desnivel de temperatura favoreció la pérdida de calor de la pilas, pero manteniéndose dentro de los límites encontrados en la bibliografía. Sin embargo, por viabilidad y facilidad de los cafeteros se seleccionó esta alternativa de compostaje para dar aprovechamiento al subproducto de la pulpa de café.

9. Conclusiones

Después de la caracterización de residuos orgánicos en la región fueron seleccionadas tres alternativas de fácil acceso para los caficultores, compostando la pulpa de café con vástago de plátano, pollinaza y residuos orgánicos domésticos, además, de tener en cuenta las altas propiedades fisicoquímicas que cada uno posee, aportando los nutrientes necesarios para un compostaje óptimo.

Se realizó el montaje del experimento con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, mezclando la pulpa de café con las tres alternativas anteriormente mencionadas, empleando el método de diseño experimental completamente al azar y realizando las mediciones de los parámetros (pH, temperatura, humedad) cada 4 días durante 16 semanas.

Fue seleccionada la alternativa que consiste en el compostaje de la pulpa de café con el vástago de plátano, brindando la posibilidad de dar el aprovechamiento a dos distintos tipos de residuos agrícolas de la región, y trayendo consigo impactos positivos al medio ambiente, conjuntamente con el beneficio económico, ya que los residuos que se utilizan para la ejecución del compostaje se encuentran con gran facilidad en la zona, contribuyendo al proceso de fertilización de los cultivos.

Después de seleccionado el tratamiento de compostaje, fueron socializados con la comunidad los resultados obtenidos, estableciendo que el vástago del plátano es la mejor alternativa para dar manejo a la pulpa de café generando un compostaje entre estos dos residuos, además de ser la alternativa más asequible y económica para los caficultores.

La problemática principal que se presenta en la zona es el manejo inadecuado del residuo de la pulpa de café, trayendo consigo impactos negativos en los recursos hídricos de la región, por lo tanto, se llevó a cabo el presente proyecto, estableciendo una alternativa de manejo para la

pulpa de café, optando por el aprovechamiento de este residuo, minimizando las problemáticas ambientales y por otro lado pensando en el beneficio de los caficultores.

A partir de la obtención de los datos del parámetro Temperatura, el tratamiento T3, arrojó resultados bajos comparado con los tratamientos T1 y T2, esto se debe a que el vástago de plátano es un residuo que contiene un alto índice de humedad, pero que está dentro de los rangos establecidos para un compostaje de buena calidad, además es un residuo que se ve en gran cantidad en la zona, ya que se implementan los cultivos asociativos café – plátano y por ello se elige esta alternativa como la más viable.

Las cantidades aportadas de cada residuo se establecieron con base a lograr una relación C:N cercana a 30, aunque de los 3 tratamientos establecidos el T3 donde se utilizó el vástago de plátano, al parecer no logró la relación C:N esperada, pero el resultado se encuentra dentro de los rangos normales de un compostaje, esto sucede posiblemente por la acumulación de una alta cantidad de elementos con contenido en carbono causando una volatilización en forma de dióxido de carbono, en este caso y para este tratamiento la fermentación serán un poco más lenta y con una temperatura más baja comparada con los demás tratamientos tardándose un poco más en la obtención del producto final, resaltando que esto no impide que la calidad del compostaje sea buena.

10. Recomendaciones

Se recomienda emplear compostaje en los cultivos agrícolas pues este trae consigo varios beneficios para las plantaciones como el mejoramiento de la estructura del suelo, estimula la actividad biológica, retención de agua y aireación.

Se recomienda que a lo largo del proceso de la descomposición de los restos es fundamental que las temperaturas suban para apresurar el incremento de microorganismos benéficos que ayudan en el proceso de transformar los residuos a un compostaje eficaz para las plantas.

Para conseguir resultados recomendables tanto en el proceso de compostaje como en el producto final, planteamos que se realice el compostaje por medio de un proceso aeróbico. Esto no solamente ayuda a la rapidez de conversión y la uniformidad de la composición del suelo, sino además aparta la producción de compuestos volátiles que se generan en un proceso anaeróbico.

Se recomienda que las entidades promotoras de la conservación del medio ambiente generen espacios de conocimiento a los agricultores sobre la utilización y aprovechamiento responsable de subproductos generados en las actividades agrícolas.

11. Referencias

- Agudelo, J. M. (2012). Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Provenientes Del Beneficio Del Café, En El Municipio De Betania Antioquia: Usos Y Aplicaciones. Recuperado de: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/627/1/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_SOLIDOS_BENEFICIO_CAFE.pdf
- Andrés, R., & Guevara, M. (2018). Evaluación de abonos orgánicos a base de pulpa de café, en el cultivo de lechuga cv. Kristine y Versai. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6438/1/CPA-2018-T059.pdf>
- Anónimo. (2019). Producción de café de Colombia cerró el 2019 en 14,8 millones de sacos. Revista federación nacional de cafeteros de Colombia. Recuperado de: <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cerro-el-2019-en-148-millones-de-sacos/#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%20enero%202020,que%20el%20cierr e%20de%202018.&text=En%20diciembre%20de%202019%20la,1%2C7%20millones%20de%20sacos>
- Arévalo Sánchez, L. D., & Meneses Ariza, B. P. (2017). Evaluación Del Proceso De Compostaje De Residuos De Cebolla. Recuperado de: <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/13029/1/169007.pdf>
- Astrid Moreno, Z. (s.f.). Manual para la producción de Compost usando Microorganismos propio balance +. Recuperado de: <http://www.noticias.ibicol.com.co/wp-content/uploads/2016/08/ELABORACION-COMPOST-usando-probioticos.pdf>

- Avilés, L. D. (2018). Evaluación Del Enriquecimiento De Compost De Pulpa De Café Con Mucílago. Recuperado de: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/03/Franco-Luis.pdf>
- Blandón, G., Dávila, M. T., y Rodríguez, N. (s.f.). Caracterización Microbiológica y Físicoquímica de la Pulpa de Café y con Mucílago, en proceso de Lombricompostaje. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2801%29005-023.pdf>
- Braham, J. E., & Bressani, R. (S.f). Pulpa de Café- Composición Tecnología y Utilización. Recuperado de: [file:///C:/Users/SYSTEMAS/Downloads/IDL-4722%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/SYSTEMAS/Downloads/IDL-4722%20(5).pdf)
- Castro, L. A. (2018). Estandarización De La Técnica De Compostaje Enriquecido Con Fosforo Como Metodo De Reaprovechamiento De Los Residuos Orgánicos De La Plaza Sur De Tunja. Recuperado de: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2209/1/TGT-922.pdf>
- Cajahuanca Figueroa, S. A. (2016). "Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* sp.) en el proceso de compostaje en la central Hidroeléctrica Chaglla". Recuperado de: http://distancia.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/58/TESIS_SARA_CAJAHUANCA_FIGUEROA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. Revista Academia & Virtualidad. Recuperado de: <file:///C:/Users/SYSTEMAS/Downloads/2004-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8320-4-10-20160923.pdf>

Conejo, D. F. (2016). Caracterización de proceso de compostaje y aprovechamiento de calor generado en un reactor bajo aireación forzada. Recuperado de:

<https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2017/05/Tesis-DiegoFallas.pdf>

Cordero, M. A., & Morales, J. U. (2007). Uso de pollinaza y gallinaza en la alimentación de rumiantes. Recuperado de:

<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/161.pdf>

Corte Constitucional (1991). Constitución política de Colombia de 1991. Consejo Superior de la Judicatura. Recuperado de:

<https://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia.pdf>

Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Ministerio de Ambiente. Recuperado de:

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf

Díaz, L. C., & Barrios, M. P. (2019). Estudio Del Efecto En Diferentes Cantidades De Fibra De Vástago De Plátano En Propiedades Fisico-Mecánicas Del Concreto Hidráulico Para Pavimento. Recuperado de:

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5746/MONOGRAFIA%20SIA%202019%20-%20MA.%20PAULA%20VEGA%20Y%20CAROLINA%20ROMERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=V%C3%81STAGO%20DE%20PL%C3%81TANO%3A%20Es%20la,debajo%20del%20nivel%20del%20su>

Docampo Roberto (2013). Compostaje y compost. Recuperado de:

<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>

Erazo Henry (2019). Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración. Recuperado de:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29639/1/Tesis%20I.%20M.%20513%20-%20Erazo%20S%C3%A1nchez%20Henry%20David.pdf>

García, J. M., Jiménez, J. A., García, L. S., & Jaramillo L. M. (2018). Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominico harton.

Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-21.pdf>

Gomez, A. M. (2017). Evaluación Del Proceso De Compostaje De Pollinaza Fresca Y Otros Materiales Organicos Generados En El Paramo De Berlín. Recuperado de:

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2017/170496.pdf>

Fierro, N., Contreras, A., González, O., Rosas, E., & Morales, V. (2018). Caracterización Química Y Nutrimental De La Pulpa De Café (Coffea Arabica L.). Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/326246134_CHARACTERIZACION_QUIMICA_Y_NUTRIMENTAL_DE_LA_PULPA_DE_CAFE_Coffea_arabica_L/link/5b403e240f7e9bb59b10292b/download

Franco Avilés, L. D. (2018). Evaluación del Enriquecimiento de Compost de Pulpa de Café con Mucílago, Moyuta Jutiapa. Jutiapa. Recuperado de:

<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/03/Franco-Luis.pdf>

Garita Sánchez, N., & Rojas Vargas, J. (s.f). Guía práctica para el manejo de los residuos

orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost. Recuperado de:

<http://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guía de la Tecnología de EM. (s.f). Recuperado de:

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Boletin%20Tecnologia%20%20EM.pdf>

Herrera, J. O., & Prado, M. O. (2007). El compostaje y su utilización en agricultura. Recuperado

de:

http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/1907/1El_compostaje_y_su_utilizacion_en_agricultura.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jiménez, J. A., & Valenzuela, L. S. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como

alternativa de valoración de subproductos. Revista Ion. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-37.pdf>

Ledezma, J. (2009). Producción de compost a partir de residuos orgánicos para el ingenio castilla

industrial S.A, Colombia. Recuperado de:

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6398/T04412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marquez, P. Diaz, M. Cabrera, F. (s.f). Factores que afectan al proceso de compostaje.

Recuperado de:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

Martínez, S. R., Hernández, F. D., Aguilar, C. N., & Rodríguez, R. (2018). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana.

Recuperado de:

<https://investigacion.uaa.mx/RevistaIyC/archivo/revista77/Articulo%209.pdf>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015). Resolución 0631 de 2015. Recuperado de:

https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). Compostaje. Recuperado de:

https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA4&dq=compostaje&ots=BRVsJ4kvP1&sig=KYWIIx5UiE7uXBh05fHTFrVFRaI#v=onepage&q=compostaje&f=false

Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Ciria, P., Cristobal, M. V., Zaragoza, C. (s.f.).

Producción Y Gestión Del Compost. Recuperado de:

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>

Paz Ynofuente, E. E. (2015). Valoración Del Rendimiento de Pellas De Coliflor (Brassica oleracea L. var. Botrytis) cv. "Snow Ball" Por Efecto de Aplicaciones de Pollinaza;

Compost y Biofermento de Pescado. Recuperado de:

<http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/408/M-21614.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pierre, F., Rosell, M., Quiroz, A., & Granda, Y. (2008). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en caspito municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara, Venezuela. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85714162004.pdf>

Portal TecnoAgricola-Inóculo Microbial para Compostaje. (s.f.). Recuperado de: <https://www.buscador.portaltecnogricola.com/vademecum/col/producto/EM%20-%20In%C3%B3culo%20microbial%20para%20compostaje>

Roberto Saintmartin. (s.f.). Microorganismos Efectivos – EM. Recuperado de: <https://www.agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/12/que%20es%20em.pdf>

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del Agricultor Experiencias en América Latina. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Sánchez García, F. B. (2018). Co-Compostaje de Residuos Procedentes de almazara en zonas rurales del interior de la provincia de alicante. Recuperado de: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/5395/1/TFM%20S%C3%A1nchez%20Garc%C3%ADa%20Francisco%20Borja.pdf>

Trinidad-Santos, A., & Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia De La Materia Orgánica En El Suelo. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/249320586.pdf>

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). (s.f.). Transparencia y Acceso a la Información Pública. Recuperado de: <https://informacion.unad.edu.co/>

Vargas Corredor, Y. A. (2018). Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales En El Mejoramiento De La Calidad Del Ambiente. Recuperado de:
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108/2874>

Yepes Victor. (2021). Diseño completamente al azar y ANOVA. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/27/disenocompletamente-al-azar-y-anova/>

12. Anexos

Anexo 1. Bitácora de recolección de datos del parámetro Potencial de Hidrógeno (pH)

	PH durante el proceso de compostaje												
	Día	T1-R1	T1- R2	T1- R3	T1- R4	T2-R1	T2-R2	T2-R3	T2-R4	T3-R1	T3-R2	T3-R3	T3-R4
semana 1	19/09/2020	4.5	5.0	4.0	5.0	4.5	5.0	5.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.0
	23/09/2020	4.5	5.0	5.0	4.5	5.0	5.0	4.5	4.5	5.0	4.5	4.5	4.5
semana 2	27/09/2020	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	5.0	4.5	5.0
	1/10/2020	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
semana 3	5/10/2020	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0	5.5
	9/10/2020	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5
semana 4	13/10/2020	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0
	17/10/2020	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5
semana 5	21/10/2020	5.5	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.5	5.0	4.5
	25/10/2020	5.0	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.0
semana 6	29/10/2020	5.0	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0
	2/11/2020	5.0	5.0	5.5	5.0	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5
semana 7	6/11/2020	5.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	5.0
	10/11/2020	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
semana 8	14/11/2020	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	18/11/2020	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.0
semana 9	22/11/2020	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	26/11/2020	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5
semana 10	30/11/2020	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	4/12/2020	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5
semana 11	8/12/2020	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	12/12/2020	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
semana 12	16/12/2020	5.0	5.5	6.0	6.0	5.0	5.5	6.0	5.5	6.5	6.5	5.5	6.5
	20/12/2020	5.5	5.5	6.0	6.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.5	6.5	6.0	6.5
semana 13	24/12/2020	5.0	5.5	6.0	6.0	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.5	6.5	6.5
	28/12/2020	5.5	5.5	5.5	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	5.5
semana 14	2/01/2021	5.5	5.0	5.5	6.0	5.0	5.0	5.0	5.5	6.0	6.5	6.0	6.0
	6/01/2021	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.5	6.0
semana 15	10/01/2021	5.0	5.5	6.0	6.0	5.5	5.5	6.0	5.5	6.5	6.5	5.5	6.5
	14/01/2021	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	6.0
semana 16	18/01/2021	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	6.0	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	6.0
	22/01/2021	5.0	5.5	6.0	6.0	5.5	5.5	6.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Bitácora de recolección de datos del parámetro Temperatura (°C)

	Temperatura (°C) durante el proceso de compostaje												
	Día	T1-R1	T1- R2	T1- R3	T1- R4	T2-R1	T2-R2	T2-R3	T2-R4	T3-R1	T3-R2	T3-R3	T3-R4
semana 1	19/09/2020	24°C	23°C	24°C	24°C	23°C	24°C	23°C	24°C	24°C	25°C	25°C	26°C
	23/09/2020	29°C	28°C	31°C	32°C	28°C	29°C	31°C	31°C	27°C	28°C	28°C	29°C
semana 2	27/09/2020	27°C	24°C	28°C	28°C	26°C	25°C	26°C	26°C	25°C	24°C	26°C	25°C
	1/10/2020	26°C	26°C	25°C	27°C	24°C	25°C	26°C	25°C	24°C	24°C	24°C	24°C
semana 3	5/10/2020	27°C	25°C	26°C	26°C	25°C	25°C	25°C	26°C	24°C	23°C	24°C	24°C
	9/10/2020	26°C	25°C	25°C	26°C	24°C	26°C	27°C	26°C	24°C	23°C	24°C	24°C
semana 4	13/10/2020	24°C	24°C	25°C	25°C	24°C	24°C	25°C	25°C	23°C	22°C	23°C	23°C
	17/10/2020	25°C	26°C	25°C	26°C	24°C	24°C	25°C	25°C	23°C	22°C	23°C	23°C
semana 5	21/10/2020	24°C	26°C	28°C	27°C	25°C	26°C	27°C	27°C	25°C	26°C	26°C	25°C
	25/10/2020	25°C	25°C	24°C	24°C	23°C	24°C	23°C	23°C	22°C	23°C	23°C	23°C
semana 6	29/10/2020	28°C	27°C	27°C	27°C	25°C	25°C	25°C	26°C	25°C	25°C	26°C	27°C
	2/11/2020	26°C	25°C	24°C	24°C	23°C	23°C	23°C	23°C	23°C	23°C	23°C	24°C
semana 7	6/11/2020	23°C	22°C	22°C	22°C	21°C	21°C	22°C	22°C	22°C	22°C	22°C	22°C
	10/11/2020	23°C	24°C	25°C	25°C	23°C	23°C	25°C	25°C	24°C	24°C	24°C	24°C
semana 8	14/11/2020	28°C	26°C	25°C	25°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	23°C	23°C	23°C
	18/11/2020	27°C	25°C	26°C	26°C	25°C	25°C	25°C	25°C	24°C	24°C	24°C	24°C
semana 9	22/11/2020	25°C	24°C	23°C	23°C	23°C	23°C	24°C	23°C	23°C	23°C	23°C	23°C
	26/11/2020	24°C	23°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C
semana 10	30/11/2020	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	24°C	26°C	26°C	26°C	24°C	26°C	26°C
	4/12/2020	24°C	25°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	23°C	22°C	24°C	22°C	22°C
semana 11	8/12/2020	25°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	22°C	23°C	23°C	24°C
	12/12/2020	25°C	25°C	26°C	26°C	24°C	26°C	27°C	25°C	24°C	23°C	25°C	25°C
semana 12	16/12/2020	27°C	25°C	24°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	23°C	23°C	23°C	24°C
	20/12/2020	28°C	26°C	26°C	25°C	24°C	23°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	23°C
semana 13	24/12/2020	27°C	28°C	28°C	28°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C	24°C
	28/12/2020	26°C	27°C	28°C	28°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	24°C
semana 14	2/01/2021	26°C	28°C	27°C	28°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	25°C	25°C	25°C
	6/01/2021	25°C	26°C	28°C	27°C	25°C	28°C	26°C	26°C	23°C	24°C	24°C	24°C
semana 15	10/01/2021	26°C	25°C	25°C	25°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C
	14/01/2021	25°C	24°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	28°C	24°C	24°C	25°C	26°C
semana 16	18/01/2021	26°C	27°C	28°C	28°C	24°C	25°C	24°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C
	22/01/2021	25°C	25°C	26°C	25°C	23°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	24°C	24°C

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Bitácora de recolección de datos del parámetro Humedad (%)

	Húmedad (%) durante el proceso de compostaje												
	Día	T1-R1	T1- R2	T1- R3	T1- R4	T2-R1	T2-R2	T2-R3	T2-R4	T3-R1	T3-R2	T3-R3	T3-R4
semana 1	19/09/2020	58%	58%	57%	58%	56%	56%	57%	57%	58%	58%	57%	56%
	23/09/2020	58%	59%	59%	61%	59%	59%	61%	59%	56%	59%	57%	59%
semana 2	27/09/2020	57%	58%	57%	56%	55%	56%	58%	57%	56%	55%	56%	56%
	1/10/2020	58%	57%	56%	58%	57%	56%	59%	57%	57%	57%	57%	56%
semana 3	5/10/2020	59%	59%	70%	60%	59%	58%	71%	60%	59%	59%	60%	59%
	9/10/2020	57%	60%	57%	58%	57%	57%	57%	56%	58%	58%	57%	56%
semana 4	13/10/2020	60%	59%	57%	58%	60%	58%	58%	57%	60%	57%	58%	58%
	17/10/2020	59%	58%	58%	70%	60%	58%	58%	58%	60%	59%	59%	57%
semana 5	21/10/2020	60%	58%	60%	58%	58%	58%	60%	58%	63%	59%	58%	59%
	25/10/2020	58%	58%	60%	59%	58%	59%	58%	57%	57%	58%	60%	61%
semana 6	29/10/2020	58%	57%	57%	59%	57%	56%	59%	58%	58%	58%	59%	58%
	2/11/2020	58%	59%	58%	58%	57%	58%	58%	57%	59%	57%	59%	58%
semana 7	6/11/2020	59%	58%	58%	60%	58%	59%	56%	58%	59%	59%	57%	59%
	10/11/2020	61%	61%	59%	60%	60%	60%	58%	61%	62%	58%	61%	60%
semana 8	14/11/2020	59%	60%	61%	58%	60%	58%	59%	60%	59%	58%	58%	60%
	18/11/2020	59%	58%	58%	60%	59%	58%	58%	59%	58%	57%	59%	60%
semana 9	22/11/2020	63%	60%	62%	59%	60%	61%	59%	60%	59%	57%	59%	59%
	26/11/2020	58%	58%	57%	60%	58%	58%	59%	58%	59%	59%	58%	59%
semana 10	30/11/2020	58%	56%	57%	58%	60%	59%	59%	58%	59%	58%	59%	59%
	4/12/2020	58%	59%	59%	57%	58%	58%	57%	58%	57%	58%	58%	57%
semana 11	8/12/2020	59%	58%	60%	60%	60%	58%	58%	58%	57%	58%	60%	58%
	12/12/2020	60%	60%	60%	61%	59%	59%	61%	60%	59%	58%	59%	59%
semana 12	16/12/2020	59%	58%	60%	58%	59%	58%	58%	58%	59%	60%	57%	58%
	20/12/2020	59%	60%	59%	59%	59%	55%	59%	59%	58%	60%	59%	59%
semana 13	24/12/2020	59%	60%	60%	59%	59%	55%	58%	58%	58%	59%	60%	59%
	28/12/2020	59%	60%	59%	58%	59%	55%	59%	58%	58%	60%	59%	59%
semana 14	2/01/2021	59%	60%	60%	59%	58%	55%	56%	56%	58%	59%	59%	60%
	6/01/2021	58%	59%	58%	58%	59%	59%	60%	60%	59%	59%	58%	59%
semana 15	10/01/2021	58%	58%	60%	58%	59%	58%	58%	58%	59%	60%	57%	59%
	14/01/2021	58%	57%	57%	58%	58%	57%	56%	58%	59%	58%	58%	58%
semana 16	18/01/2021	58%	57%	56%	56%	58%	58%	57%	57%	58%	57%	58%	59%
	22/01/2021	58%	58%	58%	58%	58%	57%	58%	58%	59%	60%	57%	58%

Fuente: Elaboración propia


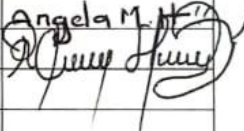
Anexo 4. Asistencia socialización de resultados

SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS

PROYECTO APLICADO "ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DEL RESIDUO DE PULPA DE CAFÉ
MEDIANTE PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA VEREDA EL BOSQUE – MUNICIPIO YOTOCO"

ASISTENCIA.

FECHA: 26 Febrero del 2021.

Nº	Nombres y Apellidos	Cedula	Celular	Firma
1	Fernando Restrepo	44267037	3165349601	Fernando
2	Deora Cortés			
3	Jorge Humberto Salazar Ordóñez.	112.878.818.		
4	Carlos Salazar Franco	6208537	3157183221	Carlos Salazar Franco
5	Dayanna Acuña	38831049	3166039704	Dayanna
6	Angela María Huerta	29.434.710.	3126725893.	Angela M. H.
7	Rosa Cecilia Humberto Paulina.	09432.876 Paulina	318-311-0779.	
8				
9				
10				

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD

PROGRAMA: INGENIERIA AMBIENTAL

ESTUDIANTES: ESTEFANIA IMBACUAN – LESVIA MARIA VALENCIA.

Fuente: Elaboración propia