



Universidad **Mariana**

Evaluación del contenido de nutrientes con la variación del sustrato por compostaje con “*Ancognatha scarabaeoides*” para obtener humus a partir de los subproductos del café

Dayana Elizabeth Botina Gomez

Maria Camila Burbano Pantoja

Anyi Paola España Bucheli

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Evaluación del contenido de nutrientes con la variación del sustrato por con “*Ancognatha scarabaeoides*” para obtener humus a partir de los subproductos del café

Dayana Elizabeth Botina Gomez

Maria Camila Burbano Pantoja

Anyi Paola España Bucheli

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniera ambiental

Mg. Juan Carlos Narváez Burgos

Asesor

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

San Juan de Pasto

2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por el apoyo y la formación profesional recibida durante nuestro trabajo de grado en la Universidad Mariana. La educación y la experiencia adquirida en esta institución han sido fundamentales para nuestro desarrollo académico y personal.

En particular, extendemos nuestro agradecimiento al profesor Juan Carlos Narvaez, quien ha sido nuestro asesor a lo largo de este proceso. Apreciamos enormemente su dedicación, orientación y respaldo, elementos clave que han contribuido significativamente al éxito de nuestra investigación. La experiencia y conocimientos compartidos han sido invaluable.

Asimismo, queremos agradecer al personal encargado de los laboratorios de la Universidad Mariana. Su compromiso y disponibilidad para brindar las herramientas y recursos necesarios han sido fundamentales para llevar a cabo nuestros experimentos y obtener resultados significativos.

Estamos profundamente agradecidas por la oportunidad de haber sido parte de la Universidad Mariana y por el respaldo brindado durante nuestro trabajo de grado. Sin duda, esta experiencia ha sido fundamental para el crecimiento profesional y nos ha preparado de manera sólida para enfrentar los retos futuros.

Dedicatoria

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por darme la fuerza y salud necesaria para culminar esta importante etapa en mi vida, que ha sido fundamental para mi crecimiento tanto profesional como personal.

Mi gratitud se extiende a mi familia, en especial a mi madre, Nancy, y a mi hermano, Esteban. Ellos han sido pilares inquebrantables a lo largo de mi trayectoria académica y profesional, ofreciendo un respaldo esencial en cada paso de este recorrido. Su amor incondicional, paciencia y aliento han sido constantes, configurando la base de mi desarrollo.

Agradezco sinceramente las lecciones que me han impartido, forjando mi identidad actual con principios, valores, perseverancia y dedicación. Todo ello ha sido otorgado con una generosa dosis de amor, sin esperar nada a cambio. Mi gratitud hacia ellos es eterna; han sido los cimientos que me han impulsado a seguir aprendiendo y materializando mis sueños.

No puedo pasar por alto el agradecimiento a mi pareja y a mis amigas(os), quienes me han brindado un apoyo y amor incondicional. Su presencia durante mis altibajos ha sido fundamental, brindándome la fuerza necesaria para continuar en este camino de crecimiento personal.

Con todo mi amor y agradecimiento,

Dayana Elizabeth Botina Gómez

Dedicatoria

Al realizar esta dedicatoria mi primer agradecimiento y gratitud es para Dios, creador y dueño de mi vida, por darme el don de la sabiduría y ciencia para crecer como persona y profesional, también agradezco las oportunidades que me ha dado de conocer a personas maravillosas.

Quiero dar un agradecimiento a mi querida familia, mis padres, hermanas y sobrino, quienes han sido mi mayor apoyo durante toda mi formación académica. Su constante respaldo, tanto académico como emocional, ha sido fundamental para mi éxito y crecimiento personal, les agradezco infinitamente por su paciencia, comprensión y aliento en cada paso de mi camino educativo, gracias por estar presentes, brindándome su amor incondicional y motivándome a seguir adelante en los momentos más desafiantes. Gracias por creer en mí e impulsarme a superar mis límites. Sus palabras de aliento y consejos han sido un bálsamo en los momentos de duda que han fortalecido mi confianza en mis habilidades y capacidades. Sin ustedes familia, no habría sido posible llegar hasta donde estoy hoy. Gracias por ser mi fuente de inspiración y el pilar en el que me he apoyado a lo largo de mi trayectoria académica.

Les estaré eternamente agradecida por todo lo que han hecho por mí. Su amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido el motor que me impulsa a seguir creciendo y alcanzando mis sueños.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico mis logros y éxitos académicos.

María Camila Burbano Pantoja

Dedicatoria

En primera instancia, expresé mi agradecimiento a Dios, por ser la fuente inagotable de sabiduría y guía en cada paso de este proceso. Su luz ha iluminado mi camino y su gracia ha sido mi compañía constante, brindándome la fortaleza necesaria para superar desafíos y llegar a este destacado punto en mi formación académica.

A mi amado padre, Carlos, quien con esfuerzo y dedicación se erige como el artífice de nuestro éxito. Su labor incansable en la obtención de los recursos necesarios para este proyecto es un testimonio de su compromiso inquebrantable con mi educación. A ti, mi fuente de fortaleza, te agradezco profundamente tu apoyo incondicional y por ser la luz que orienta mi camino.

A mi querida madre, Susana, mi roca y mi inspiración, le doy las gracias por estar presente en cada fase de este proyecto. Gracias a tu constante atención y tus sabios consejos, has sido mi guía, orientándome de esta manera hacia el éxito. Tu amor incondicional ha sido mi mayor motivación, y estoy muy agradecida por cada sacrificio que has hecho para verme triunfar.

A ti hermana Diana, has sido mi fuente de consuelo en los momentos difíciles, y a tus palabras, que han sido el impulso que necesitaba para alcanzar mis metas. Agradezco sinceramente por ser mi confidente fiel, por compartir risas que han iluminado mi camino y por ser esa compañera de vida que ha transformado cada desafío en una valiosa oportunidad de crecimiento.

A mi adorada sobrina, Isabella, quien a pesar de su corta edad, ha sido una fuente constante de inspiración. Su alegría inquebrantable y curiosidad han sido un recordatorio constante de la importancia de la perseverancia y la pasión en la búsqueda del conocimiento.

Gracias, familia, por ser mi tesoro, motivación y refugio. Este trabajo de grado refleja no solo mi esfuerzo, sino también nuestro amor, trabajo en equipo y dedicación.

Con amor y gratitud,

Anyi Paola España Bucheli

Contenido

Introducción	14
1.1. Descripción del problema.....	18
1.1.1. Formulación del problema	20
1.1.2. Hipótesis.....	21
1.2. Justificación.....	21
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos	23
1.4.1. Antecedentes	23
1.4.1.1. Internacionales.....	23
1.4.1.2. Nacionales.....	24
1.4.1.3. Regionales	25
1.4.2. Marco teórico	27
1.4.3. Marco contextual.....	31
1.5. Metodología	33
1.5.1. Enfoque de investigación	33
1.5.2. Tipo de investigación	33
1.5.3. Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis.....	34
1.4.1. Diseño metodológico	34
1.5.4. Diseño experimental.....	36
1.5.4.1. La técnica de observación.....	37
1.5.4.2. Instrumentos de investigación	37
2. Presentación de análisis y discusión resultados	41
2.1. Sistema de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) para la obtención de humus a partir de los subproductos del beneficio húmedo del café.....	41
2.1.1. Caracterización fisicoquímica de los subproductos del café y suelo	41
2.1.1.1. pH.....	43
2.1.1.2. Conductividad eléctrica (CE).....	44

2.1.1.3. Porcentaje de humedad.....	45
2.1.1.4. Nitrógeno (N).	45
2.1.1.5. Fósforo (P).....	46
2.1.1.6. Sodio (Na).	46
2.1.1.7. Potasio (K).....	47
2.1.1.8. Azúcares	48
2.1.1.9. Grasas y aceites	48
2.1.2. Determinación de espacio idóneo para la realización del proyecto y medidas de las pilas	48
2.1.3. Implementación del tratamiento de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) con las medidas adecuadas	51
2.2. Estabilización de los procesos fisicoquímicos y biológicos en los tratamientos para la obtención de humus.....	53
2.2.1. Establecer un sistema y horario de volteo de la pila	54
2.2.2. Toma de muestras para medición.....	55
2.2.3. Medición de parámetros en laboratorio para determinar la estabilidad de los sistemas .	55
2.2.3.1. Parámetros medidos para el proceso de compostaje.	56
2.2.3.1.1. pH.	56
2.2.3.1.2. Conductividad eléctrica.	59
2.2.3.1.3. Porcentaje de humedad.....	60
2.2.3.1.4. Temperatura.....	63
2.2.3.2. Análisis de correlación entre variables por niveles.	65
2.3. Análisis de las diferencias en el contenido de nutrientes que presenta el humus obtenido en los tratamientos	69
2.3.1. Nitrógeno (N)	70
2.3.2. Fósforo (P).....	71
2.3.3. Potasio (K).....	72
2.3.4. Sodio (Na)	73
2.3.5. Diferencias entre los tratamientos por variación del sustrato.....	73
3. Conclusiones	76
4. Recomendaciones.....	78

Referencias bibliográficas 79
Anexos 92

Índice de Tablas

Tabla 1. Diseño metodológico	34
Tabla 2. Diseño experimental.....	36
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de los subproductos del café y suelo	42
Tabla 4. Cantidad en kg de materia prima en los sistemas de compostaje en cada tratamiento	50
Tabla 5. Nutrientes iniciales del proceso del compost	52
Tabla 6. Sistema de horario y volteo para los sistemas de compostaje.....	55
Tabla 7. Correlación de Spearman para variables del nivel 1	65
Tabla 8. Correlación de Spearman para variables del nivel 2.....	66
Tabla 9. Nutrientes finales del proceso del compost.....	70

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del municipio El Peñol, Nariño	32
Figura 2. Ubicación sede Alvernia de la Universidad Mariana, Pasto Nariño.....	33
Figura 3. “Caseta” ubicada en la sede Alvernia, Universidad Mariana	49
Figura 4. Adecuación de las cajas de madera en la caseta ubicada en la sede Alvernia	51
Figura 5. Tratamiento de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy)	52
Figura 6. Muestras de los tratamientos de compostaje para medición de parámetros	55
Figura 7. Resultados obtenidos de pH en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo	57
Figura 8. Resultados obtenidos de conductividad eléctrica en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo.....	59
Figura 9. Resultados obtenidos de porcentaje de humedad en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo.....	61
Figura 10. Resultados obtenidos de temperatura en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo	63

Índice de Anexos

Anexo A. Cálculos para obtención de los kilogramos en cada nivel	92
Anexo B. Concentraciones iniciales de la mezcla.....	93
Anexo C. Determinación de Nitrógeno.....	95
Anexo D. Determinación de Fósforo	97
Anexo E. Cronograma de actividades	101

Introducción

El desarrollo de la agricultura en los últimos años ha estado condicionado por una producción cada vez más intensa, con el uso indiscriminado de fertilizantes, plaguicidas, además de prácticas de manejo que han propiciado pérdida de la fertilidad, la erosión y contaminación del suelo (Mogollón et al., 2014).

Por otro lado, la expansión del cultivo de café tiene un impacto significativo en Colombia, donde gran parte del territorio se dedican a este cultivo, siendo el departamento de Nariño un contribuyente destacado de esta producción (Agronet, 2015). La producción de café en esta región es altamente valorada en el comercio internacional (Criollo Escobar et al., 2016).

En el proceso de cultivo e industrialización del café, solamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 95% restante está representado por residuos, en donde se incluyen la pulpa, el mucílago, el cisco, las pasillas, la borra y los tallos de café. La pulpa de café se genera durante la etapa del despulpado del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. Su producción media es de 2,25 toneladas frescas/ha-año y se constituye en el principal subproducto del proceso de beneficio (Rodríguez, 2007).

Antes de la utilización de los fertilizantes químicos, la nutrición y reposición de nutrientes en el suelo se llevaban a cabo principalmente mediante el uso de abonos orgánicos (Morionez Ruiz y Montes-Rojas, 2017). Estos abonos son reconocidos por sus diversas cualidades, destacando su capacidad para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, reemplazar la materia orgánica perdida y estimular la actividad biológica (Morionez Ruiz y Montes-Rojas, 2017). La composición química de los abonos orgánicos se origina a partir de subproductos generados por los procesos metabólicos de organismos, los cuales, al consumir materia orgánica para obtener energía, dejan como residuo moléculas inorgánicas como Carbono (C), Nitrógeno (N), Potasio (K) y Fósforo (P) (Morcillo y Portela, 2010). Debido a su origen natural, los abonos orgánicos desempeñan un papel crucial al proporcionar nutrientes esenciales para los cultivos.

Los abonos no sólo favorecen la productividad del suelo, sino que también tienen un impacto positivo en la calidad del suelo y contribuyen a la preservación del medio ambiente. El suministro adecuado de nutrientes en el suelo es fundamental para el crecimiento saludable de los cultivos. Además, los abonos orgánicos, contribuyen a la mejora en la calidad, conservar la fertilidad y prevenir la erosión del suelo. Estas prácticas también promueven un ciclo de recursos sostenibles, mejoran la calidad del agua y reducen la contaminación. Por lo tanto, los abonos no solo benefician la producción, sino que también tienen efectos positivos en la conservación del suelo y protección del medio ambiente (FAO,1996).

La amplia variedad de abonos orgánicos en el mercado se debe a la disponibilidad de varias materias primas y procesos de elaboración. En los últimos años, su uso ha experimentado un aumento significativo en la producción de cultivos, impulsado por su impacto positivo en las propiedades del suelo y su potencial como alternativa a los fertilizantes sintéticos (Durán-Umaña y Henríquez-Henríquez, 2010). Dentro de esta categoría, se incluyen métodos como el compostaje tradicional y el vermicompost.

El vermicompostaje consiste en un tratamiento descentralizado que reduce la cantidad de residuos y los valoriza convirtiéndolos en un material valioso para los suelos. Con estas técnicas contribuimos a disminuir la generación de residuos y por otro lado nos autoabastecemos con un producto de alto valor para la fertilidad de nuestros huertos y jardines: “El vermicompost, o humus de lombriz” (Villegas-Cornelio y Laines-Canepa, 2017).

De esta manera se evita el transporte de estos residuos a largas distancias, así como su tratamiento en grandes plantas centralizadas, lo que redundaría en una reducción de la contaminación ambiental y del impacto que producen las grandes instalaciones de tratamiento de residuos. Otro de los beneficios del autocompostaje es que la ciudadanía se implica directamente en la gestión de sus residuos orgánicos y ahorra en la compra de abonos, enmiendas o sustratos (Adhikary, 2012).

En este trabajo, se abordó la elaboración de humus utilizando subproductos del café y la especie *Ancognatha scarabaeoides*, conocida como Mojojoy, para la descomposición del material orgánico.

Se realizaron diversas experimentaciones y tratamientos con el propósito de analizar el contenido de nutrientes en cada etapa de maduración del compost.

El objetivo final fue obtener un humus de calidad que enriquezca el suelo con nutrientes beneficiosos y, al mismo tiempo, se determinó las diferencias significativas en cada tratamiento planteado en este estudio. Considerando que el suelo, es un recurso natural no renovable que requiere cientos de años para su formación, desempeña un papel esencial en el equilibrio de los ecosistemas. Actúa como filtro y amortiguador al retener sustancias, protegiendo las aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos. Además, contribuye a la mineralización al descomponer o modificar la estructura de compuestos orgánicos (Cotler et al., 2007). Este proceso de compostaje se llevó a cabo con el fin de buscar una mejora de fácil implementación para reducir en los impactos generados en el recurso suelo y por ende, el recurso hídrico que son causados por esta actividad agrícola.

Resumen del proyecto

Durante la investigación, se evidenció que en el proceso productivo del café se generan grandes cantidades de subproductos, los cuales son considerados desechos. Entre estos subproductos se encuentran la pulpa o cáscara de café, el mucílago, entre otros. La generación de estos residuos ocasiona contaminación del suelo y agua, generando impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad debido al mal manejo y falta de aprovechamiento dentro de las fincas que los producen (Rondón Toro et al., 2016).

En este estudio, se evaluó el contenido de nutrientes en el humus obtenido mediante el compostaje de los subproductos del beneficio húmedo del café y con la especie animal *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy). Se empleó un diseño experimental de comparación para evaluar el contenido de nutrientes como Nitrógeno (N), Fósforo (P) Potasio (K) y Sodio (Na) en los sistemas de compostaje y determinar qué tratamiento es más efectivo en la producción de humus.

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar un aumento en el contenido de nutrientes en el humus obtenido a partir del compostaje de los subproductos del beneficio húmedo del café y con la especie animal Mojojoy. Estos resultados indican que el uso de estos subproductos y la presencia del Mojojoy cumplen con la función de enriquecer el humus con nutrientes esenciales.

Palabras clave: Compostaje, humus, subproductos de café, *Ancognatha scarabaeoides*, análisis de nutrientes.

Abstract

During the research, it was evident that large quantities of by-products are generated in the coffee production process, which are considered waste. Among these by-products are coffee pulp or husk, mucilage, among others. The generation of these residues leads to soil and water pollution, causing negative impacts on the environment and society due to poor management and lack of utilization on the farms that produce them (Rondón Toro et al., 2016).

In this study, the nutrient content in the humus obtained through composting the by-products of wet coffee processing, along with the animal species *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy), was evaluated. A comparative experimental design was employed to assess nutrient content such as Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), and Sodium (Na) in the composting systems and determine which treatment is more effective in humus production.

The results revealed an increase in nutrient content in the humus derived from composting the by-products of wet coffee processing with the presence of the Mojojoy species. These findings indicate that the use of these by-products and the presence of Mojojoy serve to enrich the humus with essential nutrients.

Keywords: Composting, humus, coffee by-products, *Ancognatha scarabaeoides*, nutrient analysis.

1.1. Descripción del problema

Con el panorama actual de generación de residuos de muy diversos orígenes, y su disposición final inadecuada, se están estudiando diversos métodos para convertirlos en productos útiles en el menor tiempo posible (Méndez-Matías et al., 2018). En el sector agrícola estos materiales no pueden utilizarse de manera directa debido al alto contenido de componentes fenólicos, los cuales causan efectos fitotóxicos, provocando disminución del crecimiento o incluso la muerte de las plantas (González García, 2005; Aranda et al., 2008). Para que estos residuos puedan utilizarse deben

someterse a un proceso de degradación mediante el cual disminuyan o incluso se eliminen los compuestos causantes de dicha toxicidad (Méndez-Matías et al., 2018).

El café es uno de los productos agrícolas cultivados en gran extensión en el mundo. Es utilizado principalmente para la preparación del café como bebida (infusión), a partir de granos molidos. Para el año 2010, según reportes de la Organización Internacional del Café, la producción de café sobrepasó los 8 millones de toneladas (Urribarrí et al., 2014). Colombia para el año 2015 alcanzó una cifra de 14,2 millones de sacos de 60 kg, este aumento en la producción cafetera se ve reflejado directamente en el PIB, ya que alcanzó en el 2015 un 15,6% para este producto (Serna-Jiménez et al., 2018).

Para el mismo año, Colombia registró 771.731 hectáreas cultivadas en café, de las cuales, el departamento de Nariño aporta 32.137 hectáreas, que representan el 4,16% (Agronet, 2015), cuya producción es muy apreciada en el comercio internacional (Criollo Escobar et al., 2016). A pesar de la importancia económica de este producto para el país, en las diferentes etapas del proceso productivo del café se generan alrededor de 784.000 toneladas/año de biomasa residual, que incluyen el mucílago, la pulpa, cascarilla, entre otros, dado que solo se aprovecha el 5% del peso del fruto para la preparación de la infusión (Serna-Jiménez et al., 2018).

Un problema ambiental destacado asociado a la producción de café es la generación de pulpa, que a menudo se vierte en cuerpos de agua, aumentando la demanda de oxígeno para su descomposición y causando asfixia en la biota acuática. Además, cuando se deja descomponer sin control sobre el suelo, la pulpa puede generar problemas fitosanitarios y contaminación cruzada (Serna-Jiménez et al., 2018).

La contaminación del suelo debido a la pulpa de café se agrava por su alta demanda bioquímica de oxígeno y su rápida fermentación, junto con la presencia de compuestos como proteínas, grasas y carbohidratos que pueden contribuir a la contaminación del suelo y el agua si no se gestionan adecuadamente. Por lo tanto, es esencial implementar prácticas sostenibles para el tratamiento y aprovechamiento de la pulpa de café, con el fin de mitigar su impacto ambiental negativo en el suelo y el entorno natural (Encalada et al., 2017).

La pulpa del café posee características apropiadas para el proceso de compostaje ya que contiene un alto contenido de azúcares (fuente energética), una buena relación carbono:nitrógeno (25-30:1) y un tamaño de partícula adecuado, por lo que el compostaje se ha difundido como una alternativa de manejo de este desecho (Soto y Muñoz, 2002). Su utilización como enmienda orgánica ha producido incrementos en los rendimientos de café (Pierre, Rosell, Quiroz, y Granda, 2009). La pulpa de café está compuesta por proteína (7.5-15.0%), grasa (2.0-7.0%) y carbohidratos (21-32%), y estos pueden usarse como materia prima para nuevos procesos, a través de la extracción de estos componentes (Serna-Jiménez et al., 2018).

El proceso de compostaje es una herramienta clave para la descomposición biológica aerobia que ocurre bajo condiciones controladas (Escobar, Sánchez Ponce, y Azero, 2011). Durante este proceso, la materia orgánica heterogénea es transformada en un producto homogéneo conocido como “compost”. La calidad del compost es variable y depende principalmente del tipo de materia orgánica utilizada, la presencia de aditivos, la técnica de compostaje y tiempo de duración del proceso (Escobar, Sánchez Ponce, y Azero, 2011). Por su parte, Blandon et al. (1998) demostraron que las fincas cafeteras pueden producir un compost de mejor calidad cuando compostan solamente la pulpa de café sin adicionarle el mucílago (Bohórquez, Puentes, y Menjivar, 2014).

Con lo mencionado anteriormente, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar las diferencias en la composición de nutrientes del humus obtenido a través de la implementación de un sistema de compostaje con el uso de “*Ancognatha scarabaeoides*” (mojojoy) a partir de variaciones en las cantidades de los subproductos del beneficio húmedo del café y suelo para la realización de dicho proceso.

1.1.1. Formulación del problema

¿Qué diferencias significativas existen en el contenido de nutrientes del humus proveniente de cuatro tratamientos con sustratos de los subproductos del beneficio del café a partir de la especie “*Ancognatha scarabaeoides*”?

1.1.2. Hipótesis

Existen diferencias significativas en el contenido de nutrientes con la variación del sustrato para obtener humus con los subproductos del beneficio húmedo del café por compostaje con “*Ancognatha scarabaeoides*” (Mojojoy).

1.2. Justificación

El manejo de la pulpa de café ha sido uno de los más difíciles siendo el desecho de mayor volumen, que se acumula por períodos largos y conlleva a la generación de malos olores, siendo un medio propicio para la reproducción de moscas y otras plagas responsables de múltiples enfermedades (Vasquez et al., 2010).

De los 13,8 millones de sacos de 60 kg de café verde producidos en Colombia (Congreso Cafetero 2015), 514 mil toneladas aproximadamente corresponden a pulpa del café; estos grandes volúmenes producidos en post-cosecha, son considerados contaminantes, si no se disponen de forma adecuada.

Este trabajo de investigación permitió evaluar la implementación de estrategias para el aprovechamiento de los subproductos de café, con el fin de elaborar humus por medio del compostaje con ayuda de *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy), esto se debe a que en Nariño al ser un departamento con grandes producciones de café no se realiza un aprovechamiento ni disposición final adecuada del residuo generado en esta actividad agrícola. El proceso de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) permitió verificar si es eficaz en la elaboración de humus puesto que es un proceso que ha sido poco explorado y utilizado para el aprovechamiento de los subproductos del café.

La aplicación de humus en el suelo tiene múltiples beneficios, como mejorar la calidad del suelo al aumentar la retención de nutrientes y mejorar la estructura del suelo. Además, el humus actúa como un agente de captura de carbono, contribuyendo a mitigar el cambio climático al reducir la presencia de gases de efecto invernadero. Asimismo, el humus puede ser utilizado como enmienda

orgánica que impulsa prácticas agrícolas más ecológicas y minimiza la contaminación del suelo y el agua, debido a la disminución de fertilizantes químicos.

Con lo mencionado anteriormente, esta investigación define como beneficiarios directos a los caficultores, ya que van a poder hacer uso de los diferentes procesos de aprovechamiento de los subproductos del café, estos para ser convertidos en humus, y que se pueda utilizar para el mejoramiento del suelo y por ende de los cultivos; y en los beneficiarios indirectos, está la comunidad en general, debido a que los subproductos se van a incluir dentro de un plan de gestión ambiental y no ser desechados libremente, evitando el deterioro ambiental del recurso agua y suelo, así como también evitando el daño a la salud humana.

Finalmente, la implementación de estas estrategias para el aprovechamiento de los subproductos del beneficio húmedo del café nos permite crear planes de gestión integral de este residuo, además de crear alternativas para que los subproductos del café se integren a una economía circular (CONPES 3874) con la obtención del humus, permitiendo que se reduzcan los efectos negativos generados al medio ambiente causados por este residuo, y con ello se permite la protección, conservación del medio ambiente, el recurso agua y suelo (Ley 99 de 1993).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las diferencias en el contenido de nutrientes del humus proveniente de cuatro tratamientos para los subproductos del beneficio húmedo del café a partir de la especie *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy).

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar los tratamientos de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) para la obtención de humus a partir de los subproductos del beneficio húmedo del café.

- Estabilizar los procesos fisicoquímicos y biológicos en los tratamientos para la obtención de humus.
- Analizar las diferencias en el contenido de nutrientes que presenta el humus obtenido en los tratamientos.

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1. Antecedentes

En relación con el tema de estudio y la importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos, en este caso los subproductos del beneficio húmedo del café, se dan a conocer artículos e investigaciones a nivel internacional, nacional y local con respecto a la elaboración de abono orgánico, humus o afines con los residuos ya mencionados.

1.4.1.1. Internacionales. A continuación, se presentan los antecedentes realizados en otros países, con respecto a la temática estudiada.

Autores: Saira Rocio Martinez, Francisco Daniel Hernandez, Cristoba Noe Aguilar, Raul Rodriguez Herrera. (2018)

Título: Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana.

En este trabajo de investigación se evidenció la mala disposición de la pulpa de café ya que generalmente es arrojada en las fuentes hídricas o a abandonadas a cielo abierto, para ello los autores de este trabajo tratan de demostrar las ventajas del uso de la pulpa de café la cual contribuye a minimizar la contaminación ambiental por el mal uso de este subproducto.

Dentro de esta investigación se puso en práctica estrategias de biorremediaciones utilizando extractos acuosos y etanólicos naturales a partir de plantas, además se discutirá temas como la implicación de los componentes antioxidantes y fitoquímicos de extractos de pulpa de café sobre

el crecimiento de bacterias y hongos que ocasionan daño en los alimentos y en la salud humana, donde se evaluó la actividad antibacteriana de extractos acuosos de café (A, B y C) frente a enterobacterias. El uso de extractos de pulpa de café puede utilizarse para controlar el crecimiento y desarrollo de agentes microbianos.

Autores: Ludeña Quinde, Geiner, Saavedra Huamán, Reinerio. (2020)

Título: Aprovechamiento de la pulpa del café (*Coffea arábica* L) para incrementar la materia orgánica de los suelos del distrito de San Ignacio.

El aumento de material orgánico a través de pulpa fresca y pulpa tratada de café han incrementado el nivel de pH a niveles apropiados para el cultivo del café cuyos rangos de 5-6.

El nivel de potasio incrementado en los tratamientos de pulpa fresca presenta menores niveles de nitrógeno en comparación con el tratamiento de pulpa tratada de café.

Los niveles de carbono obtenidos en la presente investigación se incrementan en los tratamientos de pulpa fresca y pulpa tratada de café, en este último alcanzando un nivel más alto (4.97% carbono) entre los tratamientos la materia orgánica del suelo se clasifica en dos categorías: humus y descomposición de restos de cosecha.

1.4.1.2. Nacionales. A nivel nacional, se encontraron las siguientes investigaciones:

Autores: Paula Daniela Castellanos Rodríguez. (2020)

Título: Estrategias y tendencias de aprovechamientos de los residuos de la fase del beneficio del café en Colombia.

La monografía se realiza a través de la búsqueda de información bibliográfica de fuentes confiable acerca de los diferentes aprovechamientos que se obtienen de los residuos de poscosecha de café (pulpa y mucílago); con la investigación se determina los métodos de transformación y se

establecen los productos que resultan y que son valorizados y beneficiosos socialmente, económicamente y ambientalmente. Al aprovechar y realizar una transformación de los residuos de la poscosecha del café (pulpa y mucílago) resultan diferentes productos beneficiosos para la agricultura y el ecosistema: Los productos obtenidos de la transformación de la pulpa son: Abono orgánico: se obtienen a partir de la realización del compost, con la utilización de fosas y con lombricultivo. Hongos comestibles y medicinales, producción de gránulos y briquetas, infusiones, alimentación de animales: a través del ensilaje de la pulpa.

Autores: Jairo Smith Triviño Pineda; José Contreras García; Claudia Milena Amorocho Cruz; Javier Eduardo Sánchez Ramírez. (2021)

Título: Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa)

El objetivo principal de este estudio fue investigar el aprovechamiento de la pulpa de café mediante el proceso de fermentación para la obtención de bioetanol.

Con lo anteriormente mencionado, los resultados mostraron que es posible tratar este residuo mediante procesos fermentativos y obtener bioetanol separado por medio de la destilación simple con un contenido de alcohol entre 3,85 % al 6,90 % por cada 250 ml de biomasa tratada en condiciones ambientales. Se observó en todos los ensayos que una variable importante es el tiempo de fermentación y la estructura inicial del residuo ya que esto influye sobre el rendimiento obtenido en términos del bioalcohol producido.

1.4.1.3. Regionales. En el entorno regional, se hizo el hallazgo de las siguientes investigaciones:

Autores: Buesaquillo Quemag, Maira Isabel; Casanova Torres, Leiby Amparo (2014).

Título: Evaluación de tres alternativas técnico ambientales para el aprovechamiento de residuos orgánicos producidos en los barrios san francisco y condominio municipio Valle del Guamuez, Putumayo.

La investigación pretendía evaluar tres alternativas técnico ambientales como son; compostaje, lombricompostaje y Bocashi para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados por los barrios San Francisco y Condominio en el Municipio Valle del Guamués y según los resultados que se obtendrían a partir de un análisis de laboratorio teniendo en cuenta, los parámetros permisibles de la Norma Técnica Colombiana 5167; se realizó la posterior elección de la alternativa más viable.

Esta investigación se realizó principalmente haciendo una identificación de los tipos de residuos que generan los habitantes de los barrios, haciendo recolección y separación de cada producto obteniendo el peso de cada residuo. La materia orgánica recolectada para la aplicación de técnicas fue de 619,185 kg y de esta totalidad 22,5 kg pertenecía a otros residuos como textiles, latas, papeles. Al ejecutarse las diferentes alternativas y enviar muestras al laboratorio de la Universidad de Nariño se procedió a evaluar los resultados con los parámetros permisibles de la Norma Técnica Colombiana 5167 y se obtuvo que la técnica más viable fue el compostaje.

Autores: Jorge Vélez Lozano; Hernán Burbano Orjuela; Jorge Fernando Navia E.; Eyder Daniel Gómez L (2018).

Título: Descomposición de residuos de *saccharum officinarum* L. y su efecto fertilizante en *raphanus sativus* L.

El objetivo de esta investigación fue utilizar caldos microbianos para la descomposición de residuos de caña panelera *Saccharum officinarum* L. y su efecto fertilizante en plantas de *Raphanus sativus* L.

Se evaluaron cinco tratamientos que incluían, compost, caldo microbiano, adiciones de nitrógeno, fósforo y un testigo bajo el diseño completamente al azar con tres repeticiones. Del abono orgánico se determinaron variables físicas y químicas y el efecto fertilizante en plantas de *Raphanus sativus* L. La aplicación del caldo microbiano sobre los residuos sólidos de caña panelera permite obtener un abono orgánico de buen contenido de materia orgánica, de nitrógeno, de fósforo, de potasio, de calcio y de magnesio. Con la aplicación del abono orgánico enriquecido, en

dosis de 2 y 4 t/ha-1, se consiguió una mayor longitud de la parte aérea de *R. sativus*, lo cual se tradujo en mayor peso de la parte aérea y de la parte radical.

1.4.2. Marco teórico

Residuo orgánico. La Agencia Europea del Medio Ambiente define a los residuos agrícolas como aquellos materiales inutilizables, sólidos o líquidos, que resultan de las prácticas agrícolas. De esta forma, los residuos agrícolas pueden clasificarse en:

- Los derivados del proceso productivo, de cultivo, consistente en restos vegetales.
- Los productos químicos utilizados en el desarrollo de los cultivos, fertilizantes, plaguicidas, etc., utilizados con el objeto de aumentar el rendimiento productivo.
- Los residuos específicos del sector viverista, constituidos principalmente de plásticos usados.
- Los originados en procesos industriales de transformación de los cultivos, constituidos fundamentalmente por materia orgánica (de Compostaje R. E., 2015).

Según Román, Martínez, y Pantoja (2013) en su artículo llamado «manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina», detallan que el material orgánico que es originado por la descomposición de plantas, microorganismos y animales favorecen de manera contundente a generar diferentes nutrientes en los suelos, que son necesarios para el crecimiento y desarrollo de la flora.

Pulpa de café. Rodríguez et al. (2013) afirman que la pulpa es el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto. Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162.900 toneladas de pulpa fresca, que si no se utilizan adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 870.000 habitantes.

Como afirma Rodríguez, Zambrano y Ramírez (2013) que la pulpa de café se genera durante la etapa del despulpado del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del

fruto fresco. Su producción media es de 2,25 toneladas frescas/ha-año y se constituye en el principal subproducto del proceso de beneficio.

Según Moreno y Romero (2016) plantean en su artículo que la pulpa de café es una de las problemáticas ambientales que más aqueja al sector agrícola del país, ya que estos residuos son los que generan mayor masa contaminante, se acumula por fases largas, por ende pueden propagar malos olores, siendo el factor principal para atraer insectos y con ello múltiples enfermedades, por tal motivo es importante comenzar a procesar los residuos de la descerezado del café y aprovecharlos como factor positivo en modo de componente orgánico que genere nutrientes al suelo y además de ello ayudar conjuntamente a no deteriorar la flora que se encuentra inmersa en los vertederos de los residuos orgánicos provenientes del procesamiento del fruto de café.

Es un material que contiene proteínas, carbohidratos y minerales además de altos niveles de potasio, taninos, polifenoles y cafeína que la hace una materia orgánica de amplio potencial (Murillo Baca et al., 2018). Gracias a los compuestos que hacen parte de la pulpa, ésta puede ser considerada como una materia prima para la obtención de diferentes tipos de sustancias utilizadas en prevención de enfermedades degenerativas (Serna Jiménez et al., 2018), teniendo en cuenta que se ha establecido una relación entre el consumo de los polifenoles y la reducción de riesgos de padecer enfermedades crónicas, incluyendo enfermedades cardiovasculares y diabetes (Quiñonez et al., 2012).

Suelo. El suelo experimenta variaciones determinadas por las condiciones lito-climáticas del entorno, el drenaje, la geomorfología y el uso de la tierra. Esta diversidad da lugar a notables variaciones en la composición del suelo a lo largo del paisaje. Además, el suelo funciona como un sistema abierto que recibe influencias atmosféricas y presenta salidas, como el escurrimiento o la erosión, que operan a nivel superficial. Por otro lado, en el suelo tienen lugar diversas transformaciones que involucran la presencia de microorganismos, agua, raíces y el intercambio de gases, entre otros procesos (Cotler et al., 2007).

Suelo andosol. Se encuentran en áreas influenciadas por la presencia de volcanes. Estos suelos se distinguen por poseer propiedades distintivas que los definen de manera precisa, contribuyendo de manera significativa a la producción agropecuaria y forestal (Takahashi y Shoji, 2002)

Sus características se atribuyen principalmente a la presencia abundante de materiales no cristalinos o de baja cristalinidad, conocidos como amorfos. Entre estos se incluyen la alofana, imogolita, complejos al-humus, ferrihidrita y otros de naturaleza similar (Sánchez Espinosa y Rubiano Sanabria, 2015).

La existencia de materiales no cristalinos y humus en los andosoles conlleva a propiedades químicas y físicas específicas, entre las cuales se destacan el predominio de carga variable, una elevada capacidad de retención de agua, una fuerte retención de fosfatos, baja densidad aparente, alta friabilidad y la formación de agregados de suelo estables (Sánchez Espinosa y Rubiano Sanabria, 2015).

Compostaje. Según Bohórquez Santana (2019), el compostaje consiste en la transformación aerobia de la materia orgánica por parte de diferentes tipos de agentes microbianos como bacterias y hongos; razón por la que es indispensable mencionar los factores físicos, químicos y biológicos, que influyen sobre su metabolismo, con el objetivo de acelerar la descomposición de los residuos utilizados para la obtención de un producto estable de excelente calidad biológica y química.

El compostaje es una tecnología de bajo costo, que garantiza que los residuos orgánicos vinculen sus componentes en el ciclo de la cadena de producción primaria, además permite mejorar las condiciones físico-químicas del suelo y aumenta la productividad de los cultivos (Jaramillo y Zapata, 2008; Otterpohl et al., 1997; Martínez et al., 2015; Pinzon Casas, 2016).

En cuanto a los usos potenciales, el compost es un acondicionador orgánico natural del suelo, pues mejora a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas además aumenta la porosidad, disminuye la densidad aparente, consolida la estructura y consistencia, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, la concentración de algunos nutrientes esenciales y su actividad biológica (Bohórquez, Puentes, y Menjivar, 2014; Quiroz y Pérez, 2013).

Moreno y Romero (2016), afirman que el compost de pulpa es un material de consistencia arcillosa, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, con excelentes propiedades acondicionadoras del suelo, conformada entre otros por minerales y una amplia variedad de microorganismos que representa un papel importante para el desarrollo de las plantas. A lo anterior debe sumarse que los fertilizantes presentes en este tipo de abono orgánico se van disponiendo lentamente en el suelo, lo que permite aumentar su aprovechamiento mejorando las propiedades físicas del suelo.

Lombricompost. El vermicompostaje, lombricompostaje o compostaje con lombrices, en sus diferentes acepciones, es un proceso biotecnológico de bajo coste que permite biodegradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción de ciertas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana (Compostaje, R. E, 2014).

Un informe reciente indicó que el vermicompostaje es mejor que el compostaje para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar el contenido de nutrientes del producto final (Swati y Hait, 2018). Khan et al. (2019) informaron que el moco y las enzimas secretadas por la lombriz de tierra epigea (*Eisenia foetida*) podrían aumentar la degradación de la celulosa durante el vermicompostaje.

***Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy).** La larva del coleóptero es conocida en la cuenca amazónica con muchos nombres comunes, entre ellos, suri (Perú), chontacuro, mayón, mukint (Ecuador), gualpa, mojojoy (Colombia) y gusano de palma (Venezuela). Al coleóptero le dicen también cucarrón, cigarrón, gorgojo, casanga o picudo negro. Se trata de un escarabajo de color negro, con visos rojizos en su fase adulta o imago, que presenta surcos en los élitros o piezas córneas que cubren sus alas. Tiene el cuerpo ovalado, mide entre 26,6 y 53,3 mm y sus patas son cortas. Su metamorfosis abarca varias fases: huevo, larva, ninfa y adulto, y el ciclo de vida es cercano a los 122 días, aunque puede extenderse hasta los 231 días. En promedio pasa 3,5 días como huevo, 60,5 días como larva, 16 días como ninfa y 42 días como adulto (Gonzales y García, 1992; Perez y Iannacone, 2006; Ramos-Elorduy y Viejo, 2007).

La larva carece de patas, pero se arrastra gracias a que sus segmentos abdominales tienen plegamientos dorsal y ventral, lo que le facilita la tracción al reptar. Su cuerpo, ligeramente curvado, tiene al inicio un color blanco crema, que va cambiando al final de su estadio larvario, en los instantes finales, hasta un color marrón oscuro. En ese momento, la larva tiene una longitud de 5 a 6 cm y un peso de 12 a 30 g (Cerda et al., 2001).

Abono orgánico. El abono orgánico es una de las estrategias o formas más comunes de darle una segunda vida útil a la pulpa de café, ya que no se necesita de procesos complicados y que pueden ser realizados por los caficultores, que además de esto, les genera una disminución en inversión de fertilizantes ya que la pulpa de café contiene proteínas, minerales, fósforo, potasio, zinc, entre otros; lo que indica un gran aporte de micro y nutrientes al suelo, favoreciendo el crecimiento de los cultivos (Ampuero, 2013).

Enmienda orgánica es cualquier material de origen animal o vegetal que puede ser adicionado al suelo para mejorar sus propiedades físicas y/o químicas. Enmiendas como estiércol y residuos vegetales han sido usadas para incrementar la fertilidad de los suelos desde el principio de la producción agrícola (He y Zhang, 2014).

Mundialmente se ha reportado un creciente interés por el uso de materiales orgánicos, debido a que estos pueden mejorar propiedades físicas, químicas y microbiológicas, e incrementar la fertilidad del suelo. Además, es una manera segura y eficaz de recuperación de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) para las plantas y de reducir el uso de fertilizantes de síntesis química para la producción de cultivos (Monsalve Camacho, Gutiérrez Díaz, y Cardona, 2017).

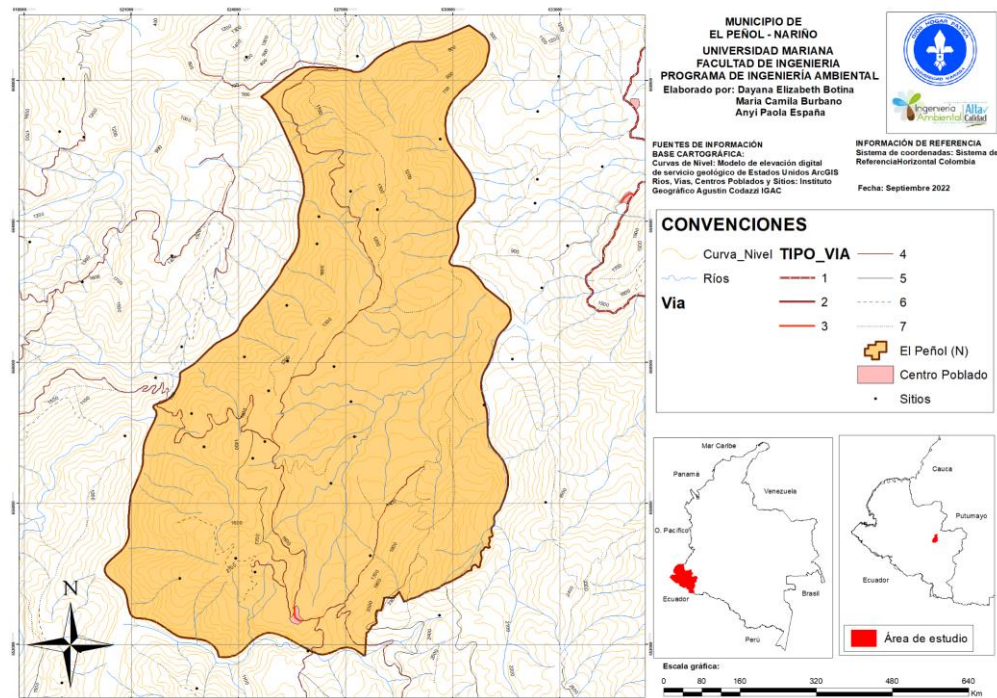
1.4.3. Marco contextual

En la presente investigación, los residuos van a ser recolectados de las fincas cafeteras del municipio de El Peñol, Nariño, ubicado en las coordenadas **Latitud:** 1° 26' 38" y 1° 36' 26" Norte y **Longitud:** 77° 23' 21" y 77° 29' 31" Oeste, a una altura de 2200 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 18°C y el clima es tropical de montaña, limita al Norte: municipio de Policarpa; Occidente: municipios de los Andes y Linares; al Sur: municipio de El Tambo y al Oriente: Con

los municipios de El Tambo y Taminango (Alcaldía Municipal). A partir de los subproductos del beneficio húmedo del café se llevará a cabo la elaboración e implementación del sistema de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* a utilizar en este estudio.

Figura 1

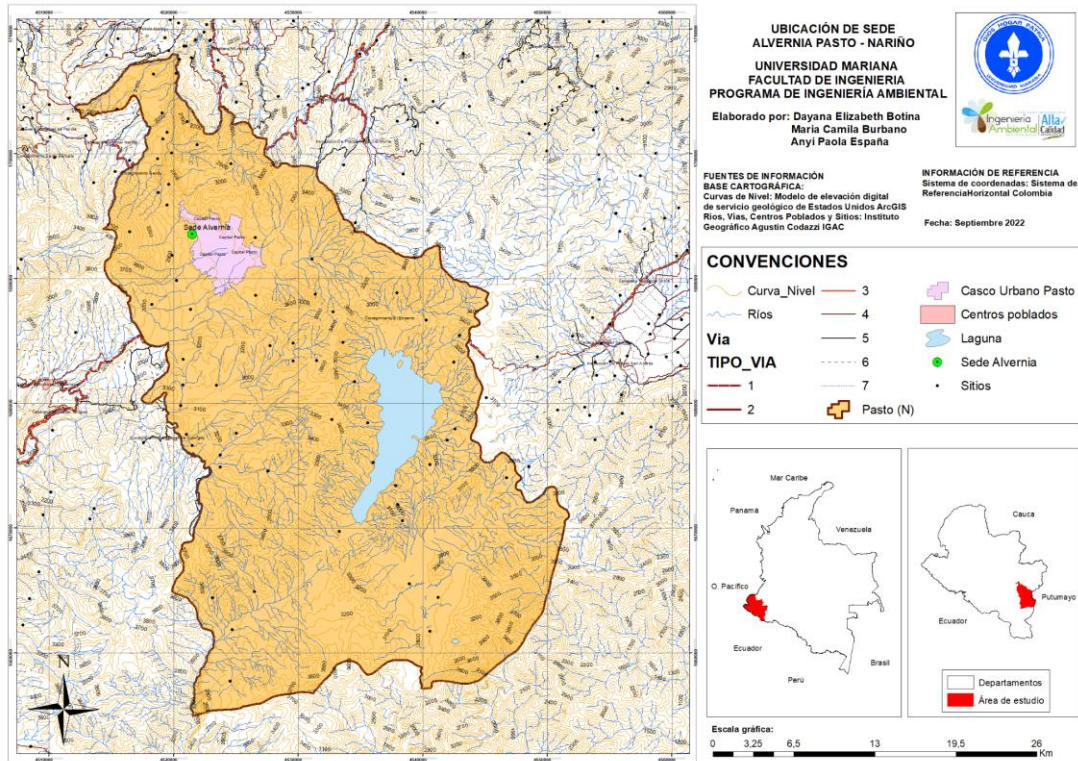
Ubicación del municipio El Peñol, Nariño



Para el análisis de los elementos experimentales se realizará un piloto de simulación en la sede Alvernia de la Universidad Mariana, ubicada en Pasto, Nariño, Colombia, situada a siete kilómetros del casco urbano, **Latitud:** 1° 22' 31" Norte y **Longitud:** 77° 29' 89" Oeste, a una altura de 2652 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 15°C (Smart GPS Location).

Figura 2

Ubicación sede Alvernia de la Universidad Mariana, Pasto Nariño



1.5. Metodología

1.5.1. Enfoque de investigación

La investigación adopta un enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión integral del proceso en estudio. El enfoque cualitativo se refiere a la recopilación de datos sobre las diversas variables involucradas en el proceso, permitiendo una apreciación más profunda de sus complejidades y dinámicas. Por otro lado, el enfoque cuantitativo se emplea para explicar cada etapa del proceso, proporcionando resultados medibles y verificables.

1.5.2. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental debido a que se enfoca en evaluar la composición de los

nutrientes en la producción de humus mediante la especie animal *Ancognatha scarabaeoides* haciendo uso de los subproductos del café y también se pretende realizar la descripción de las variables que intervienen en el proceso de maduración de este sistema.

1.5.3. Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis

Población. Producción de pulpa de café en la finca La Mina del municipio de El Peñol, Nariño.

Muestra. 20 kg de pulpa obtenidos en el corte.

1.4.1. Diseño metodológico

Tabla 1

Diseño metodológico

Objetivo específico	Meta	Actividades	Producto
Implementar el sistema de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) para la obtención de humus a partir de los subproductos del beneficio húmedo del café	Poner en marcha la pila de compost con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) con las medidas respectivas en el lugar adecuado.	-Caracterización fisicoquímica de los subproductos del café. -Determinar el espacio idóneo para la realización del proyecto y medidas de las pilas. -Compra de materia prima necesaria para implementar el sistema de compostaje. -Pesaje y transporte de pulpa al lugar de simulación del laboratorio	Sistema de compostaje implementado de acuerdo a la variación del sustrato y sus respectivas repeticiones.

			a escala piloto. -Realizar el montaje de la pila de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) con las medidas adecuadas.
Estabilizar los procesos fisicoquímicos y biológicos en los tratamientos para la obtención de humus.	Establecer los valores específicos de cada parámetro para la obtención de humus de calidad en el sistema de compostaje.	los	-Establecer un sistema y horario de volteo de la pila -Toma de muestras para medición. -Medición de parámetros en laboratorio para determinar la estabilidad de los sistemas.
Analizar las diferencias en el contenido de nutrientes que presenta el humus obtenido en los tratamientos.	Obtener el humus de calidad que presente buenos contenidos de nutrientes (fósforo, nitrógeno, sodio, potasio) para favorecer a los cultivos de café.		-Análisis del nutriente fósforo en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy). -Análisis del nutriente nitrógeno en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy). -Análisis del nutriente potasio en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy). -Análisis del nutriente sodio en la obtención de

humus con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy)
-Análisis de diferencias significativas en las variaciones del sustrato del proceso de compostaje.

1.5.4. Diseño experimental

Tabla 2

Diseño experimental

Tipo de experimento	De comparación
Variable de respuesta	Nutrientes analizados (nitrógeno, potasio, sodio y fósforo)
Objetivo	Evaluar las diferencias en el contenido de nutrientes del humus proveniente de cuatro tratamientos para los subproductos del beneficio del café a partir de la especie <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy).
Factores	Composición: subproducto del beneficio del café, suelo y agua. Especie animal Nivel 1. <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy)
Niveles de factores	Composición Nivel 1. 65% de subproductos de café, 30% de suelo y 5% de agua. Nivel 2. 45% de subproductos de café, 50% de suelo y 5% de agua. Nivel 3. 30% de subproductos de café, 65% de suelo y 5% de agua. Especie animal Nivel 1. <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy)

Tratamientos	$K^N = 3^1 * 1^1 = 3$
Unidad experimental	Sistemas de preparación de humus
Hipótesis	<p>H₁: Existen diferencias significativas en el contenido de nutrientes del humus proveniente de cuatro tratamientos para los subproductos del beneficio del café a partir de la especie <i>Ancognatha scarabaeoides</i>.</p> <p>H₀: No existen diferencias significativas en el contenido de nutrientes del humus proveniente de cuatro tratamientos para los subproductos del beneficio del café a partir de la especie <i>Ancognatha scarabaeoides</i>.</p>
Covariables	Temperatura pH Humedad Conductividad Eléctrica
Confusing factors	Vectores Riesgos colaterales Humedad relativa Temperatura ambiente
Repeticiones	Tres repeticiones.

Nota: La fórmula en la casilla tratamientos se interpreta de la siguiente manera: “K” representa el número de niveles de cada factor y “N” el número de factores.

1.5.4.1. La técnica de observación. Se hizo uso de esta técnica debido a que algunos parámetros se obtuvieron mediante el uso de los sentidos, tales como el color, textura, olor, entre otros.

1.5.4.2. Instrumentos de investigación. Se hizo uso de instrumentos de investigación que permiten la recolección y posterior análisis de los resultados.

Uso de laboratorio práctico: se realizó una caracterización fisicoquímica de los parámetros medidos en laboratorio a los subproductos del beneficio húmedo del café y suelo. Para determinar los nutrientes que estos residuos presentan. A continuación, se mencionan los parámetros y métodos utilizados:

Temperatura: en una muestra de 10 gramos se lee el resultado a través de un termómetro digital de laboratorio.

Humedad: Se tomó una muestra de 2 gramos de subproductos del beneficio húmedo del café y se llevó al analizador de humedad.

Determinación del pH: se realizó mediante el método electrométrico, este consiste en la determinación de la actividad del ion H a través del uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H; en este proceso, se maceró 5 gramos de subproductos del beneficio húmedo del café y se determinó el pH.

Determinación de la conductividad eléctrica: se realizó mediante el método electrométrico mediante el uso de un conductímetro, este mide la resistencia eléctrica que ejerce el volumen de una solución encerrada entre dos electrodos.

Determinación del fósforo: se realizó mediante la conversión a fosfomolibdato. El método se basa en la formación de fosfomolibdato que en presencia de ácido ascórbico se reduce a azul de molibdeno y cuya absorbancia se lee a 660 nm.

Determinación del nitrógeno: se realizó mediante el método de Kjeldahl con una muestra de 1 g. El método de Kjeldahl consta de tres etapas que en su orden son: digestión de la muestra, destilación con arrastre de vapor del amoníaco producido y valoración ácido base de este amoníaco. En la primera etapa, el hidrógeno y el oxígeno proteico, son oxidados hasta dióxido de carbono y agua, mientras que el nitrógeno es convertido en sulfato de amonio, por la acción de un agente oxidante en medio ácido y con la ayuda de un catalizador.

Determinación de los azúcares: se realizó mediante el método del fenol-ácido sulfúrico es un método espectrofotométrico, que se fundamenta en que los carbohidratos en medios fuertemente ácidos y altas temperaturas sufren deshidrataciones simples y producen varios derivados del furano que se condensan con el fenol dando origen a compuestos coloridos. Este método es fácil, eficaz y rápido.

Determinación de grasas y aceites: Se realizó mediante el método de Soxhlet, primero se pesó los balones Soxhlet luego se colocó las respectivas muestras en un dedal y se introdujo el conjunto en el portamuestras Soxhlet y se depositaron algunas canicas, se hizo el respectivo montaje del equipo se adiciono hexano, y se colocó una mota de algodón en la parte superior del condensador, se encendió el equipo Soxhlet y la extracción se llevó a cabo con una temperatura de 100 °C durante 2 horas, después de este tiempo se dejó enfriar los balones y se llevó al rotavapor para recuperar el solvente, luego se dejó reposar y finalmente se registró el peso del balón Soxhlet.

Densidad aparente: Se realizó mediante el método del cilindro graduado, lo cual consta de pesar una probeta de 10 ml (P_v), con la muestra seca se llenó la probeta hasta la quinta parte de su volumen, se compacto el suelo, luego se pesó la probeta con la muestra (P_{vs}) y por último se anotó el volumen ocupado por la muestra (P_w). Con los datos obtenidos se hizo el cálculo con la fórmula 1.

Fórmula para determinar densidad aparente:

$$Da = \frac{P_{vs} - P_v}{P_w}$$

Densidad real: Se realizó mediante el método del picnómetro, consta de pesar el picnómetro (M_a), pesar 5 gramos de muestra y añadir al picnómetro, pesar el picnómetro más la muestra (M_s), llenar con agua destilada hasta la mitad del picnómetro, calentar suavemente el picnómetro, luego aforar el picnómetro con agua destilada y pesar (M_{sw}), por último, se lava el picnómetro, se llena con agua destilado y se pesa (M_w). Con los datos obtenidos se reemplazó en la fórmula 2.

Fórmula para determinar densidad real:

$$Dr = \frac{Dw (Ms - Ma)}{(Mw + Ms) - (Ma - Msw)} \quad \text{donde } Dw \text{ es la densidad del agua.}$$

Determinación sodio y potasio: Se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica. Inicialmente, se pesaron 5 gramos de muestra y se añadieron a los beakers, a los cuales se les agregó 50 ml de agua regia (combinación de ácido clorhídrico y ácido nítrico en una proporción de 1:1), esta mezcla fue calentada durante dos horas. Seguidamente para el proceso de filtración, se procedió a pesar los diferentes filtros destinados para el filtrado de la mezcla. El producto resultante fue recibido en balones de 250 ml y se completó el volumen con agua destilada, se conservaron los diferentes pesos con el fin de obtener una lectura por espectrofotometría.

Bromatología: es la ciencia que estudia todos los aspectos relacionados con los alimentos para conocer su composición cualitativa y cuantitativa. Esta disciplina analiza los alimentos desde diferentes enfoques, incluyendo el nutricional, microbiológico y sensorial. La bromatología se encarga de determinar la composición exacta de los alimentos, analizando sus macronutrientes y micronutrientes (Bello Gutiérrez, 2014).

Sensorial u organoléptico: El análisis sensorial implica la evaluación de la calidad utilizando los sentidos humanos, como la vista, el olfato, el gusto y el tacto, con el fin de determinar las características sensoriales y la aceptación del producto, por otra parte, la evaluación organoléptica se refiere a la evaluación de las propiedades sensoriales de un producto, como su sabor, aroma, textura, apariencia y otras características perceptibles por los sentidos humanos.

Tabla Munsell: La metodología de la tabla Munsell se utiliza para la descripción del color de los suelos, lo que proporciona información crucial sobre las características del suelo, como la presencia de materia orgánica, oxidación o reducción química, entre otros aspectos (Agrotecnia, 2016).

2. Presentación de análisis y discusión resultados

2.1. Sistema de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) para la obtención de humus a partir de los subproductos del beneficio húmedo del café

La implementación del sistema de compostaje se realizó en las instalaciones de la Universidad Mariana, sede Alvernia. Se llevó a cabo mediante la combinación de suelo, subproductos del café y la introducción de *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy). Esta combinación de suelo y subproductos de café se realizó mediante cálculos precisos detallados en el Anexo A para determinar la cantidad específica de cada sustrato añadido a cada pila, tal como se presenta en la Tabla 4.

2.1.1. Caracterización fisicoquímica de los subproductos del café y suelo

Se hizo la medición de los parámetros fisicoquímicos de los subproductos del café de variedad Colombia (*Coffea arabica*), estos fueron traídos desde el municipio del Peñol - Nariño, en este caso, los subproductos para ser trasladados desde el municipio hasta Pasto se los congeló para que no se fermenten y alteren los resultados.

El proceso productivo de la cosecha de café en la finca “*La Mina*”, se realiza manualmente, el cual, se lleva a cabo en varias etapas, asegurando que se recolectan sólo los granos maduros. En la finca “*La Mina*”, se generan 20 kg a la semana de subproductos de café del peso total del fruto.

Adicionalmente, se llevó a cabo la identificación del suelo de estudio, clasificado como andosol debido a su influencia volcánica, en proximidad al volcán Doña Juana. Este suelo fue recolectado en el Corregimiento de Las Mesas, ubicado en el municipio de Tablón de Gomez, Nariño. La obtención de la muestra representativa del suelo se realizó mediante un muestreo aleatorio simple.

La caracterización fisicoquímica de los subproductos del café y del suelo se realizó mediante prácticas de laboratorio en la sede Alvernia, de la Universidad Mariana. Estos resultados se muestran en la Tabla 3. En estas se especifican los valores promedio de cada parámetro medido.

Cabe resaltar que, se realizaron tres repeticiones de cada parámetro, esto con el fin de ser más precisos y disminuir el margen de error en las mediciones.

Esta caracterización se realizó mediante bromatología, esto para analizar los nutrientes presentes en los subproductos del café, debido a que son el objeto de estudio. Se hace énfasis en la determinación de su composición química y en la cantidad de estos compuestos. Entre los nutrientes de interés se destacan el nitrógeno, fósforo, potasio y sodio. Además, se emplearon procesos químicos para analizar el pH, la conductividad eléctrica (CE), la humedad, entre otras variables relevantes.

Así mismo, se realizó un análisis sensorial u organoléptico que permitió evaluar, medir y analizar las características físicas de los subproductos del café (color, olor, textura) mediante el uso de uno o más órganos de los sentidos humanos. La caracterización fisicoquímica del suelo se realizó con el fin de determinar e identificar el comportamiento que tenga *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) como especie compostadora y si este tiene alguna relevancia en el mismo proceso. Es importante destacar que la densidad real y aparente de los subproductos de café y el suelo de estudio se midieron para determinar la cantidad utilizada en cada sistema de compostaje. En la Tabla 3 se muestran los resultados de los parámetros medidos en el laboratorio.

Tabla 3

Caracterización fisicoquímica de los subproductos del café y suelo

Parámetro	Valores sub. café	Desviación estándar	Valores suelo	Desviación estándar	Unidades	Método utilizado
pH	5,78	0,123	5,726	0,089	-	Potenciómetro
Conductividad eléctrica	3,79	0,144	0,167	34,889	mS/cm	Conductímetro

Humedad	78,71	0,824	4,46	0,020	%	Método gravimétrico
Nitrógeno	0,1	0,014	0,264	0,097	%	Método Kjeldahl
Fósforo	0,957	0,268	1,469	0,134	mg/L	Espectrofotómetro
Sodio	0,835	0,013	0,761	0,208	mg/L	Absorción atómica
Potasio	30,891	0,221	4,876	0,386	mg/L	Absorción atómica
Azúcares	49,033	18,147	-	-	mg/L	Espectrofotómetro
Grasas y aceites	22,48	2,57	-	-	%	Extractor Soxhlet
Densidad real	1,42	0,286	2,03	0,132	g/cm^3	Método picnómetro
Densidad aparente	0,3	0,168	0,72	0,017	g/cm^3	Método cilindro graduado
Color	Rojo	-	10YR 3/2	-	-	Organoléptico
Olor	Dulce	-	N/A	-	-	Organoléptico

2.1.1.1. pH. Según Fierro-Cabrales et al. (2018) los subproductos del café se los puede clasificar como ácidos debido a que en su estudio tienen un pH de 4,21.

Sin embargo, para este estudio también se los puede catalogar como ácido ya que se obtuvo un pH promedio de 5,78 (Tabla 3), esto puede ocasionar problemas de toxicidad por el intercambio inadecuado de aluminio en los suelos donde se deposita (Fierro-Cabrales et al., 2018). El pH es

además una variable influyente en la recuperación de compuestos fenólicos (Rovira, 2016). Según la desviación estándar, que fue de 0,123 los datos están muy cercanos a la media, es decir que, los valores indican confiabilidad sobre la medición de este parámetro.

En el suelo, el potencial de hidrógeno (pH) indica la absorción de iones H^+ y que permite identificar la disponibilidad de nutrientes (FAO, 2015). Cuando los suelos se encuentran en un rango de pH entre 5,5 y 6,5 existe una mejora en la actividad microbiana y se optimiza el suministro de bases, molibdeno y de fósforo, lo que resulta en una mejora llegando a ser óptimo para muchas plantas (Jaramillo, 2002). Sin embargo, el valor de pH ideal es de 6,5, ya que, en suelos muy ácidos, la actividad biológica tiende a disminuir (López Díaz y Estrada Medina, 2015). En este sentido, el pH del suelo estudiado es de 5,726, ubicándose dentro del rango mencionado por Jaramillo (2002).

2.1.1.2. Conductividad eléctrica (CE). La conductividad eléctrica (CE), refleja la capacidad de conducir electricidad, está directamente relacionada con la salinidad en el suelo (Perez et al., 2020). En la caracterización de los subproductos del café, se registró un valor de 3,79 mS/cm. Estos hallazgos señalan que los subproductos son ligeramente ácidos, ya que su pH de 5,78 influye en la cantidad de sales disueltas, manifestando, al mismo tiempo, una elevada conductividad eléctrica.

También es importante considerar la CE del suelo, que evalúa su capacidad para conducir corriente eléctrica, aprovechando la propiedad de las sales para llevar a cabo esta conducción (Cremona y Enriquez, 2020).

En consecuencia, la CE se utiliza como indicador de la concentración de sales solubles en la solución del suelo; es decir, a medida que la CE aumenta, se refleja un mayor contenido de sales en el suelo (López Díaz y Estrada Medina, 2015). De acuerdo con Cremona y Enriquez (2020) y Perez et al. (2020), la CE del suelo se puede utilizar como un indicador de salinidad. Para suelos no salinos, la CE generalmente se encuentra en un rango de 0 a 1 dS/m. En el caso de este estudio, el suelo presentó una CE de 0,167 dS/m, lo que confirma su clasificación como suelo no salino.

2.1.1.3. Porcentaje de humedad. Todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción. El agua se encuentra en los alimentos en dos formas: agua libre y agua ligada. El agua libre es la forma predominante, se libera con facilidad por evaporación o por secado. El agua ligada está combinada o unida en alguna forma química a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida en la superficie de las partículas coloidales (García Martínez y Fernández Segovia, s.f).

Se considera que los subproductos de café tienen alrededor de 79% de contenido de humedad lo que representa un valor alto, según lo mencionado anteriormente se puede decir que, estos contienen agua libre predominante es su estructura. En relación al suelo, el porcentaje de humedad puede variar debido a diversos factores como la textura del suelo, su aireación, drenaje y otras propiedades (FAO, s.f). Para este estudio, se registró un contenido de humedad del suelo del 4,46%, un valor relativamente bajo que se atribuye a las condiciones ambientales específicas que prevalecieron durante el periodo de estudio.

El suelo empleado en la investigación se obtuvo del corregimiento de Las Mesas, en el Municipio de Tablón de Gómez, Nariño, ubicado en las coordenadas **Latitud:** 1° 28' 03" Norte y **Longitud:** 77° 01' 29" Oeste. Este lugar presenta una temperatura promedio de 21°C y una humedad del 78% (Weather Avenue, 2023). Se clasifica como un andosol, siendo de textura franco arenosa.

2.1.1.4. Nitrógeno (N). Según Sadeghian-Khalajabadi, Mejía-Muñoz, y Arcila-Pulgarín (2006) la concentración de nitrógeno en los residuos de café representa un 33,7% de su composición, seguido por el Ca, el P, el Mg y el S, con contenidos por debajo de 0,3% y autores como Pleissner et al. (2016), en su estudio encontraron que, los valores de nitrógeno para la pulpa de café son de 14,3%, considerándola una fuente rica de este nutriente.

Se destaca que, en este estudio, se obtuvo un valor de nitrógeno del 0,097%, con una desviación estándar de 0,014, resultados similares son citados por el autor Franco-Avilés (2018), debido a que se componen del 0,15% de N. Caso contrario, la concentración obtenida se encuentra por debajo de lo reportado por Blandón-Castaño, Dávila-Arias y Rodríguez-Valencia (1999), que en su estudio se encontró valores de 1,706% en contenido de este nutriente.

Por otro lado, los niveles de nitrógeno en el suelo pueden experimentar variaciones en función de diversos factores, condiciones de drenaje, vegetación, material parental, topografía, cantidad de materia orgánica, textura del suelo, actividad del hombre (Paredes, 2013). Por lo general, los suelos saludables suelen contener entre un 0.1% y un 2% de nitrógeno. En el caso del suelo estudiado, su contenido de nitrógeno es de 0.264%, lo que se encuentra dentro de los rangos considerados saludables, tal como se mencionó previamente (AGROLAB, 2011).

2.1.1.5. Fósforo (P). El contenido de fósforo encontrado en el estudio de Ludeña Quinde y Saavedra Huamán (2020), fue de 5,27 ppm en pulpa fresca, como bien se sabe este es uno de los principales nutrientes, debido a que, los abonos son buenas fuentes de fósforo, en comparación con este estudio que el resultado de fósforo para los subproductos de café de variedad Colombia (*Coffea arabica*) fue de 0,957 mg/L. Esto indica que los subproductos del café de esta variedad contienen una concentración mucho más baja de fósforo en comparación con la pulpa fresca estudiada en el primer caso.

El fósforo en los suelos puede presentarse en diferentes minerales, tales como fosforita, apatito, etc. También en compuestos orgánicos, asociado a la materia orgánica y como parte de los microorganismos (Gonzalez, 2016). Según Tamayo Vélez y Osorio Vega, en suelos con un pH que oscila entre 5,0 y 6,0, es común encontrar niveles generalmente bajos de fósforo disponible, que suelen ser inferiores a 15 mg/kg. Es importante señalar que, en este estudio, se registró un contenido de fósforo de 1,469 mg/L, lo que equivale a 2,040 mg/kg. Esta concentración se considera muy baja en el suelo utilizado, que es de tipo franco arenoso para el proceso de compostaje.

2.1.1.6. Sodio (Na). Según autores como Balladares (2016), en su estudio menciona que el contenido de sodio en los subproductos de café es del 0,05%, concentración inferior a la encontrada en este estudio, donde el contenido de Na fue de 0,835 mg/L que corresponde al 0,278% con una desviación estándar del 0,013. Por otro lado, Fierro-Cabrales et al. (2018), en su estudio reportaron concentraciones de este nutriente de la pulpa de café de 2,12 g/kg, lo que indica una concentración significativamente mayor que la encontrada en el presente estudio, que se obtuvo un valor de 0,00278 g/kg.

Adicionalmente, en el suelo objeto de estudio, se registró un contenido de sodio de 0,761 mg/L, lo que equivale a 0,0046 cmol/kg, y se observó una desviación estándar de 0,208. Esta concentración, según la referencia de Hirzel (2004), se encuentra notablemente por debajo de los niveles recomendados para este nutriente en el suelo, los cuales se sitúan entre 0,03 a 0,1 cmol/kg. En base a este criterio, es evidente que el suelo no cumple con los niveles adecuados de sodio.

2.1.1.7. Potasio (K). Entre los componentes químicos presentes en la pulpa del café, se destacan cantidades notablemente elevadas de cafeína, polifenoles y carbohidratos, además de un contenido significativo de potasio, lo que la convierte en una materia orgánica de gran potencial (Cerquera Vargas, 2022).

Es importante mencionar que, en esta investigación, el contenido de potasio se registró en 30,891 mg/L, lo que equivale al 10,297% con una desviación estándar de 0,221. Este valor contrasta con los resultados obtenidos en estudios previos realizados por Sadeghian-Khalajabadi et al. (2006) y Blandón-Castaño et al. (1999), quienes reportaron concentraciones de este nutriente del 3,30% y 2,82% respectivamente. Esto indica que los subproductos del café de la variedad *Coffea arabica* estudiada presentan un porcentaje de concentración más elevado en comparación con los estudios previos mencionados.

Es relevante destacar que, en la cuantificación nutricional de la pulpa, pueden producirse pérdidas de elementos tras el proceso de despulpado, ya que la pulpa, debido a su rápida fermentación, libera una solución acuosa rica en nutrientes, especialmente en potasio (Fierro-Cabrales et al., 2018).

En el caso del suelo bajo estudio, se registró un contenido de potasio de 4,876 mg/L, equivalente a 0,017 cmol/kg, con una desviación estándar de 0,386. Esta concentración se considera notablemente baja según la referencia de autores como Hirzel (2004), quienes establecen que los niveles adecuados de este importante nutriente en suelos deberían situarse en un rango de 0,3 a 0,8 cmol/kg. En consecuencia, se puede concluir que la concentración de potasio hallada en este estudio no cumple con los niveles óptimos requeridos para un adecuado desarrollo de los suelos.

2.1.1.8. Azúcares. El contenido de azúcares, ácidos y agua varía dependiendo de la cantidad de luz durante el periodo de crecimiento, del suelo, del clima, del grado de maduración y de las condiciones de almacenamiento y su duración. Se encontró que, en los subproductos de café, entre el 72,8% y el 89,1% de los azúcares teóricamente presentes están disponibles como fuentes de carbono en la fermentación (Pleissner et al., 2016).

A diferencia del grano de café, en la pulpa sobresalen los azúcares reductores, especialmente la glucosa y la xilosa (Pleissner et al., 2016), se observa que el valor encontrado en este estudio fue de 49,03 mg/L, es decir, que los subproductos de café tienen un alto contenido de azúcares en su estructura. Sin embargo, se obtuvo una desviación estándar de 18,147, esto indica que, los datos obtenidos están dispersos en un rango mayor de valores, esto puede deberse a que, las condiciones de fermentación, como la temperatura, la humedad y la presencia de microorganismos específicos, pueden influir en la velocidad de la oxidación de los azúcares presentes en los subproductos de café.

2.1.1.9. Grasas y aceites. Las grasas se clasifican con las proteínas y carbohidratos, como sustancias alimenticias fundamentales y se consumen en gran cantidad, actúan como lubricantes, plastificantes y buenos conductores del calor, comunicando sabores y texturas especiales a los alimentos que se cuecen con ellas (Serna Rivera y Lopez Garcia, 2010).

Según Woiciechowski et al. (2000) el contenido grasas en los subproductos de café varía entre el 2 y 17%, en el estudio realizado dio un valor de 22,48% en contenido de grasas y aceites para los subproductos de café de variedad Colombia, de lo anterior se puede decir que está por encima de ese rango, asimismo, ese valor está muy por encima según los reportados por otros autores (Fierro-Cabrales et al., 2018) que el porcentaje de grasas es de 6,93%.

2.1.2. Determinación de espacio idóneo para la realización del proyecto y medidas de las pilas

Para la implementación de los sistemas de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) se adecuó en la “caseta” ubicada en las instalaciones de la Sede Alvernia de la universidad Mariana, con coordenadas, Latitud: 1.2200 Norte y Longitud: -77.2993 Oeste, a una altura de 2671 m.s.n.m.

(Smart GPS Location), la humedad ambiente promedio del lugar es de 67% y una temperatura promedio de 15°C.

Esta estructura tiene unas medidas de 6,10 m de largo x 4,10 metros de ancho y 3 m de alto, los muros están contruidos de zinc y las vigas son de guadua, permitiendo el sostén de la misma, cuenta con una puerta hecha de madera y el piso cubierto con hierbas como el pasto, por ello, en este suelo se realizó una modificación, implementando la instalación de un suelo de madera sobre el cual se colocaron las cajas, a las que se perforaron agujeros para permitir el drenaje de los lixiviados producidos durante el proceso de compostaje. Esto se hizo para evitar que los residuos cayeran directamente al suelo.

Figura 3

“Caseta” ubicada en la sede Alvernia, Universidad Mariana



Una vez realizada la caracterización fisicoquímica, se pudo determinar la cantidad de materia prima que se agregó en cada tratamiento, para ello se realizó el cálculo con ayuda de la densidad aparente de los subproductos de café y suelo, así mismo, se tuvo en cuenta los porcentajes dados en cada nivel del factor de composición propuestos en el diseño metodológico, estos cálculos mencionados se visualizan en el anexo A. Cabe destacar que, en Tabla 4, se presentan los resultados finales obtenidos para cada nivel.

Tabla 4

Cantidad en kg de materia prima en los sistemas de compostaje en cada tratamiento

Nivel	Sustrato	%	Peso (kg)
1	Subproductos de café	65	4,875
	Suelo	30	5,4
	Agua	5	1,25
	Total	100	11,52
2	Subproductos de café	45	3,375
	Suelo	50	9
	Agua	5	1,25
	Total	100	13,62
3	Subproductos de café	30	2,25
	Suelo	65	11,7
	Agua	5	1,25
	Total	100	13,95

El volumen y peso de los subproductos de café obtenidos en el corte durante la cosecha en la finca “*La Mina*” se utilizaron para determinar el tamaño y medidas de las cajas utilizadas para el compostaje. Como se mencionó anteriormente, en la finca se producen 20 kg de subproductos de café a la semana.

Una vez calculada la cantidad de materia prima que se agregó a cada nivel, se estimó las medidas de cada caja, además, se tuvo en cuenta que, para la producción de abono, este requiere de un

sistema de volteo, por lo tanto, se optó por construir unas cajas que propicien un manejo más eficiente. Mencionado lo anterior, las cajas de madera se construyeron con unas medidas de:

- Ancho: 50 cm
- Largo: 50 cm
- Alto: 20 cm

Figura 4

Adecuación de las cajas de madera en la caseta ubicada en la sede Alvernia



2.1.3. Implementación del tratamiento de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) con las medidas adecuadas

Luego de haber realizado la caracterización fisicoquímica de los subproductos de café y del suelo, y con ayuda de los cálculos realizados que se muestran en el anexo A, se implementaron los tres niveles de tratamiento de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy). A cada caja de compostaje se le añadió 15 *Ancognatha scarabaeoides* para que realicen el proceso de compostaje. Estas pilas fueron cubiertas con polisombra para evitar la entrada de vectores y depredadores, y así mismo para asegurar que la especie compostera no se fugue.

Figura 5

*Tratamiento de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy)*



Se llevó a cabo la determinación cuantitativa de los nutrientes presentes en cada nivel mediante cálculos estequiométricos detallados en el Anexo B. Esta evaluación se considera como la concentración inicial de los nutrientes relevantes en los tres niveles implementados. Los resultados de esta cuantificación se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Nutrientes iniciales del proceso del compost

Nutriente	Unidades	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Nitrógeno	%	0,186	0,219	0,237
Fósforo	mg/L	1,226	1,329	1,386
Potasio	mg/L	0,796	0,781	0,772
Sodio	mg/L	17,218	11,971	9,071

Los cálculos de los nutrientes se basaron en las concentraciones identificadas durante la caracterización fisicoquímica tanto del suelo como de los subproductos del café. Para garantizar la precisión de los resultados, se tuvo en cuenta la cantidad de materia prima en cada nivel, lo que

permitió realizar los cálculos necesarios y establecer la concentración inicial de cada nutriente en la mezcla de los tres niveles. Estas concentraciones iniciales desempeñaron un papel crucial al concluir el proceso de compostaje, ya que fueron determinantes para identificar las diferencias significativas.

Este enfoque integral no solo mejora la comprensión de las transformaciones nutricionales durante el proceso de compostaje, sino que también fortalece la validez y la interpretación de los resultados obtenidos, brindando una visión más completa de la eficacia del proceso haciendo uso de *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy).

2.2. Estabilización de los procesos fisicoquímicos y biológicos en los tratamientos para la obtención de humus

Para estabilizar las pilas y obtener humus, semanalmente, se tomaron muestras de los tratamientos implementados, con el fin de observar el comportamiento de cada nivel, para ello se tuvieron en cuenta las variables que pueden afectar el proceso, tales como, temperatura, pH, conductividad eléctrica y humedad. Estas variables se midieron en el laboratorio de química de la sede Alvernia de la Universidad Mariana.

El proceso de compostaje para la producción de humus se llevó a cabo durante un período de 70 días, abarcando los meses de abril, mayo y junio. Esto equivale a aproximadamente 2 meses y 10 días de compostaje, siguiendo el marco temporal recomendado por autores como Restrepo, Gómez y Escobar (2014), quienes sugieren que la cosecha de humus a través del lombricompost es óptima después de 2 o 3 meses de compostaje, lo cual se ajustó perfectamente a esta investigación.

Es importante destacar que los tiempos de descomposición se ven reducidos significativamente al considerar todos los parámetros previamente mencionados y al llevar a cabo volteos más frecuentes. En este estudio, se realizaron dos volteos por semana para maximizar la eficiencia del proceso.

Además, es necesario tener en cuenta otros aspectos clave para la cosecha del humus. Uno de ellos es el olor, que debe ser agradable, similar al del suelo, sin que se perciba ningún olor proveniente de los materiales orgánicos utilizados, en este caso, los subproductos del café. Asimismo, el color del humus debe oscurecerse a medida que madura el compost, alcanzando un tono café oscuro o negro. Por último, el pH del humus debe mantenerse dentro del rango de 7 a 8 (UAESP y SIPAF, 2014).

2.2.1. Establecer un sistema y horario de volteo de la pila

El compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen la humedad de sustrato, temperatura y pH. Además, el proceso de compostaje depende de las condiciones ambientales del lugar, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo control para que siempre estén dentro de un rango óptimo (Román, Martínez, y Pantoja, 2013).

Al aplicar un monitoreo adecuado una vez por semana se previenen problemas potenciales a la salud, la producción de olor y la infestación de plagas en los sistemas de compostaje. De esta forma, al airear la pila o al realizar el volteo, se homogeniza la temperatura y la humedad y se pueden eliminar patógenos (Ruiz Morales, 2011).

Normalmente, se realiza un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (Román, Martínez, y Pantoja, 2013). Por lo mencionado anteriormente, en la Tabla 6 se presenta el sistema de volteo y horario que se realizó en el proceso de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy). Este volteo realizado fue de manera manual, esto debido a que, se previno de no matar a la especie compostera.

Tabla 6

Sistema de horario y volteo para los sistemas de compostaje

Día	Horario	Sistema
Martes	8:00 am	Manual
Jueves	8:00 am	Manual

2.2.2. Toma de muestras para medición

Se tomó una muestra representativa de cada tratamiento para poder llevar a cabo la medición en laboratorio de los parámetros correspondientes, se realizaron tres repeticiones para cada parámetro medido con el fin de reducir el error en cada uno de ellos.

Figura 6

Muestras de los tratamientos de compostaje para medición de parámetros



2.2.3. Medición de parámetros en laboratorio para determinar la estabilidad de los sistemas

Los parámetros para el seguimiento y control de las pilas de compostaje determinados en laboratorio de la universidad Mariana se midieron al iniciar el proceso, y luego de esto, se midió cada siete días después de haber hecho el montaje de las pilas, los parámetros de interés son pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura y porcentaje de humedad. Estos parámetros son

necesarios para determinar la estabilidad de las pilas de compost y garantizar una descomposición del material orgánico durante este proceso, esto debido a que, estas variables afectan directamente el proceso de descomposición.

2.2.3.1. Parámetros medidos para el proceso de compostaje. El nivel 1, se llevó a cabo utilizando el 65% de subproductos de café, lo que equivale a 4,875 kg de estos residuos, y el 30% de suelo, que corresponde a 5,4 kg. Para el nivel 2, se utilizó el 45% de subproductos de café, lo que resulta en 3,375 kg de estos residuos, y el 50% de suelo, equivalente a 9 kg.

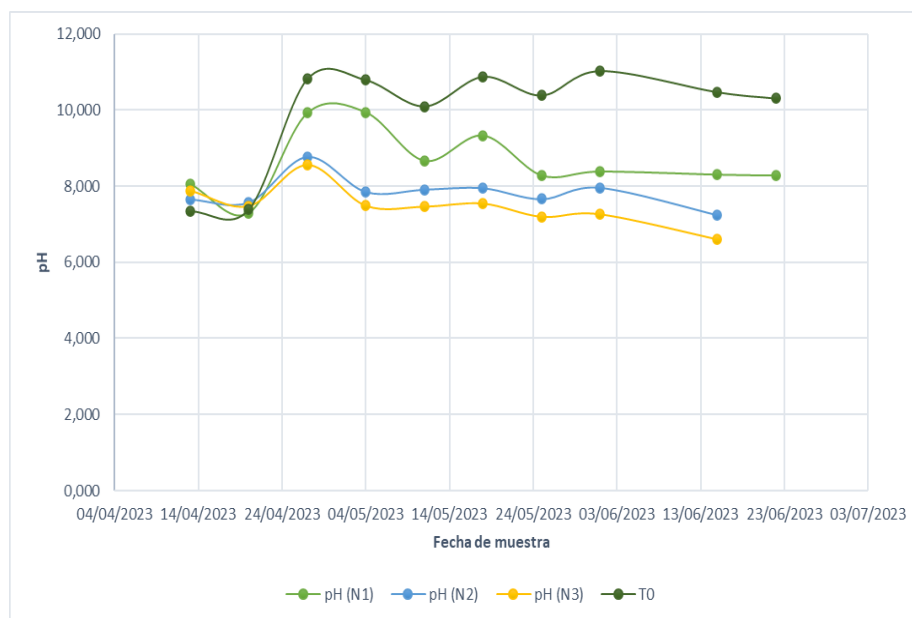
En cuanto al nivel 3, se implementó con el 30% de subproductos de café, que equivalen a 2,25 kg de residuos, y el 65% de suelo, que totaliza 11,7 kg. En cada uno de estos niveles, se añadieron 1,25 litros de agua para mantener la humedad requerida para cada tratamiento. Estos resultados también son expuestos en la Tabla 4., donde se evidencia las cantidades requeridas para cada nivel.

Los datos obtenidos de las variables de seguimiento para la estabilización de los sistemas de compost resultante en los tres tratamientos y el testigo, cada uno de ellos con tres repeticiones, fueron sometidos a una prueba de análisis de Kruskal Wallis (ANOVA) para determinar la significancia de las variables entre las repeticiones de cada uno de los niveles y/o tratamientos del proceso de compostaje. La significancia estadística consideró un nivel de confianza del 95%. Este análisis nos comprobó que no existen diferencias significativas entre las repeticiones de cada tratamiento ($p > 0.05$), pero con respecto al testigo si hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), debido a que este solo se componía de subproductos de café.

2.2.3.1.1. pH. El pH es importante en los abonos orgánicos debido a que, si este es demasiado ácido o alcalino, algunos nutrientes pueden volverse menos disponibles, lo que puede llevar a producir una falta de nutrientes.

Figura 7

Resultados obtenidos de pH en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo



En este estudio, se observa que al iniciar el proceso de compostaje, las pilas oscilan con pH neutro, entre 7 y 8, pero después de la tercera semana se observó un incremento significativo hasta alcanzar un valor cercano a 10 para el nivel 1 y valores por encima de 8 en los niveles 2 y 3. Sin embargo, el testigo obtuvo valores por encima de 10, lo que sugiere que los subproductos de café tienen un pH significativamente alcalino, es decir que, hay una buena descomposición del material orgánico (Moreno, y Romero, 2016).

El nivel 2 y 3 presentaron menores valores durante las últimas semanas esto debido a la formación de ácidos orgánicos mediante acción microbiana en condiciones anaeróbicas (Bueno et al., 2008). Mientras que, el nivel 1, finalizó con una tendencia de pH alcalino de 8,282, debido a la formación de compuestos húmicos con propiedades tampón (Bueno et al., 2008).

Se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo utilizando XLSTAT, y se comparó el valor del testigo con respecto al promedio de las repeticiones en los tres niveles durante el proceso de transformación de los subproductos del café mediante compostaje, donde se evidenció que si existen diferencias significativas entre el testigo y el promedio ($p < 0,005$), debido a que el testigo

experimenta una descomposición no controlada. Esto sugiere que los subproductos del café sometidos al proceso de compostaje sin ningún tipo de control tienen un pH alcalino, y este parámetro tiende a aumentar por la liberación de ácidos orgánicos y acumulación de amonios, debido a la acción de la descomposición de la materia orgánica (Bueno et al., 2008).

Además, se observa que la cantidad de subproductos en mezcla con el suelo presenta una relación directa con el valor de pH, es decir, que a medida que la cantidad de sustrato disminuye el valor de pH también disminuye, como ocurrió en este estudio con los niveles 2 y 3 (Arias Hernandez, 1995).

El pH del grupo testigo presentó una media de 9,945 con una desviación estándar típica de 1,391. En cuanto al nivel 1, los datos experimentales arrojaron un valor promedio de pH de 8,648, con una desviación estándar de 0,842. En el nivel 2, el promedio del conjunto presentó una desviación de 0,415, lo que sugiere que los datos se agruparon más cercanos a la media, que fue de 7,841; y para el nivel 3, se obtuvo una medición promedio del pH de 7,491 en las mediciones experimentales con una desviación de 0,526.

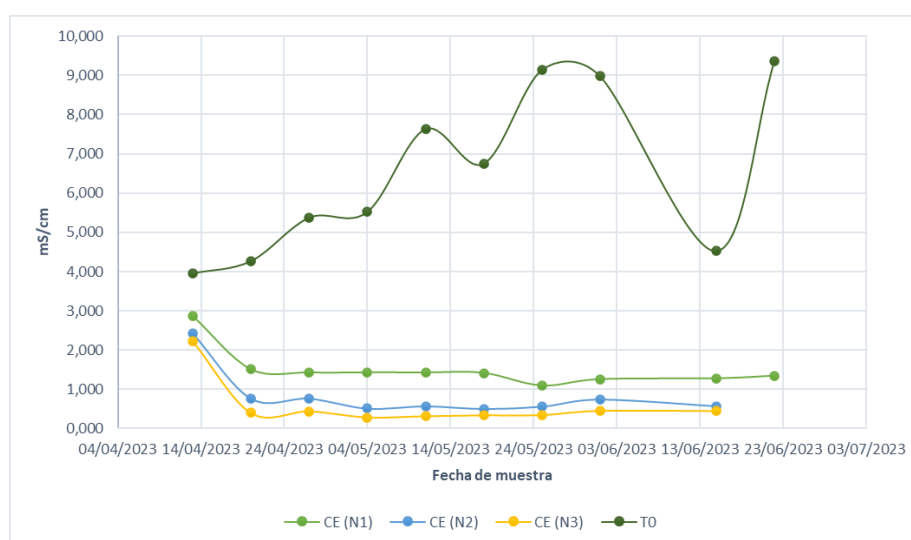
Además, para el pH, si existen diferencias estadísticas significativas entre los tres niveles de estudio ($p < 0.05$), debido a que la prueba estadística H, dio un valor de 11,604 y no se encuentra en el rango de aceptación del 95%, esto significa que al menos uno de los grupos tiene un valor de pH que es significativamente diferente de los otros grupos. Además, nos indica que la magnitud de la diferencia entre el promedio de los tres niveles es grande, es decir, que, hay una variación significativa entre los tres niveles en la variable de seguimiento pH.

Según lo expuesto, se observa que el pH del nivel 1 es el que mejor se adecúa a los rangos finales requeridos en el proceso de vermicompostaje, ya que se sugiere que los compost deben ajustarse a un rango de pH entre 7 y 8 (Bueno et al., 2008). Un pH dentro de este intervalo es indicativo de un compost de alta calidad, ya que implica una adecuada aireación del material compostado (UAESP y SIPAF, 2014).

2.2.3.1.2. Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sánchez-Monedero, 2001).

Figura 8

Resultados obtenidos de conductividad eléctrica en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo



En el presente estudio, se observó que los valores de conductividad eléctrica (CE) en los tres niveles analizados mostraron una media significativamente baja (Nivel 1: 1.504, Nivel 2: 0.826, Nivel 3: 0.584), en comparación a los valores reportados por Röben (2002), debido a que, considera que un compost de buena calidad, los valores de CE deben situarse en un rango de 2.0 a 4.0 mS/cm; resultados similares fueron reportados por Pierre et al. (2009) en su estudio sobre compost de pulpa de café, donde obtuvieron valores de CE en el intervalo de 2.39 a 2.86 mS/cm.

En este contexto, el compostaje realizado con subproductos de café y *Ancognatha scarabaeoides* no cumple con los valores de CE esperados. Esto podría deberse al proceso de descomposición, ya que las sales presentes en los materiales orgánicos, en este caso, los subproductos de café, pueden ser lixiviadas o descompuestas por microorganismos, lo que

resultaría en una reducción de la concentración de iones en el compost y, por lo tanto, una disminución de la CE.

Por otro lado, es importante destacar que la media de los valores del testigo arrojó un valor de 6.549 mS/cm. Esto se debe a la presencia de metales como hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y magnesio (Mg), que incrementan la CE al actuar como cationes bivalentes que interactúan con las cargas negativas generadas por las reacciones oxidativas de los compuestos orgánicos (García, Gil, y Carillo, 2009). Con lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que los valores de CE en los tres niveles de experimentación presentaron diferencias significativas en comparación con el testigo o control del estudio ($p < 0,005$).

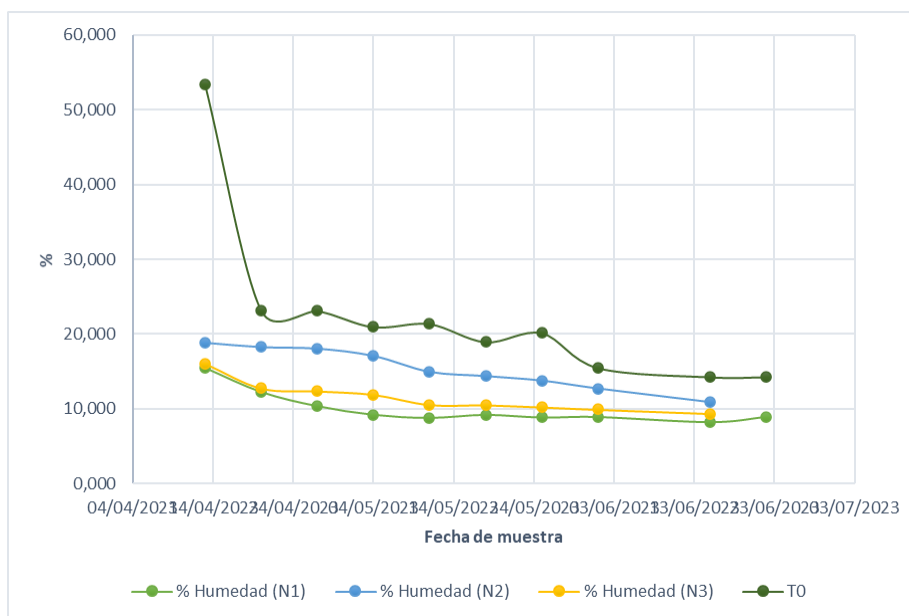
Asimismo, en la conductividad eléctrica (CE), al igual que el pH, existen diferencias significativas, con un valor de la prueba de Kruskal Wallis (H) de 15,386 y un $p < 0,000456$, los valores altos de H sugieren que hay diferencias notables entre los tres niveles de compostaje, además, el valor p es extremadamente bajo, lo que significa que la probabilidad de que las diferencias observadas sean el resultado del azar es muy baja.

En conclusión, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y considerando que los compost deben mantenerse dentro de un rango de CE de 2,0 a 4,0 mS/cm, se puede afirmar que el nivel 1 es el que mejor se ajusta a este intervalo. Es importante señalar que, aunque no alcanza estos valores exactos, es el nivel que más se aproxima. Por el contrario, los niveles 2 y 3 están significativamente por debajo de los rangos deseados, lo que los excluye de ser considerados compost de buena calidad.

2.2.3.1.3. Porcentaje de humedad. La humedad en los abonos orgánicos asegura que los procesos de descomposición y mineralización ocurran de manera efectiva. Cuando los materiales orgánicos se descomponen, los nutrientes se liberan, si el abono está demasiado seco, estos procesos se ralentizan, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes.

Figura 9

Resultados obtenidos de porcentaje de humedad en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo



El porcentaje de humedad en los tres sistemas se determinó mediante un proceso de secado a 104 °C durante 24 horas. En el caso del testigo, se observó que el porcentaje de humedad al inicio del proceso fue significativamente elevado. Este fenómeno se debe a que la pulpa de café está compuesta principalmente por agua, como lo señala Armas et al. (2008), quienes informan que su composición contiene alrededor del 86% de contenido de agua, además de contener azúcares, lo que contribuye a su alto contenido de humedad (Torres-Valenzuela et al., 2019; Torres Ampuero, 2013). Sin embargo, después de la segunda semana, el porcentaje de humedad del testigo disminuyó significativamente, esto debido a que, se dejó descomponer libremente, lo que permitió que las condiciones ambientales actuarán sobre el sustrato, reduciendo así la humedad. Este cambio tuvo como consecuencia una descomposición aeróbica más lenta de los subproductos del café, ya que la actividad microbiana se vio inhibida (Arias Hernandez, 1995).

Posteriormente, se observó que, a partir de la segunda fecha de medición, el porcentaje de humedad disminuyó, debido a que factores climáticos y las condiciones ambientales también pueden influir en los niveles de humedad en la pulpa de café (Vargas y Mazón, 2004). En los tres

niveles analizados, se pudo apreciar que tuvieron un comportamiento similar, ya que el suelo tiene la capacidad de absorber y retener la humedad, lo que contribuye a disminuir los niveles de humedad en los abonos; algunos autores como Haug (1993); Madejón et al. (2002); Jeris et al. (1973), consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante en el proceso de compostaje, y se ha calificado como un importante criterio para la optimización de dicho proceso (Bueno et al., 2008).

Adicionalmente, el porcentaje de humedad de los niveles de estudio también presentó diferencias significativas, con un valor de $p < 0,005$ y un H de Kruskal Wallis de 14,815, con una puntuación de rango media de 7,8 para N1, 22,33 para N2, 14,11 para N3. Así mismo, no se encuentra en el rango de aceptación. En otras palabras, la diferencia entre las clasificaciones medias de algunos grupos es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa. También, el tamaño del efecto observado es de 0,51, lo que indica que la magnitud de la diferencia entre el promedio es grande.

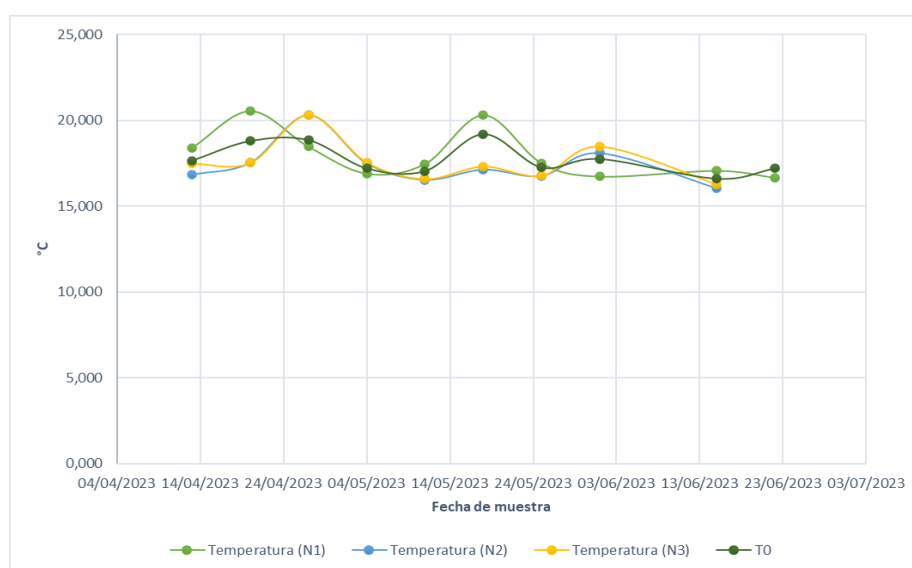
Asimismo, se destaca que mantener un entorno húmedo favorece la movilidad de la especie compostera en el sustrato; sin embargo, un exceso de humedad puede generar condiciones anaeróbicas en las pilas y dar lugar a la producción de lixiviados (Ruiz Morales, 2011). Aunque la humedad en las pilas de compostaje no alcanzó los niveles óptimos recomendados de 40 a 60% (Bueno et al., 2008), esta situación podría atribuirse al comportamiento del suelo dentro de las pilas, como se mencionó anteriormente, debido a que el porcentaje de humedad del suelo fue significativamente bajo al ser de 4,46 %.

Es importante destacar que, a pesar de la obtención de valores de humedad por debajo de lo ideal, en el N1 se observó una descomposición satisfactoria del material, asegurando la producción de un humus de calidad. Esto sugiere que, a pesar de las condiciones poco favorables de humedad, la especie y los microorganismos desempeñaron efectivamente su función de descomposición del material vegetal.

2.2.3.1.4. Temperatura. La temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje (Liang et al., 2003; Miyatake et al., 2006). En la gráfica de temperatura se puede observar una tendencia de resultados que dependen netamente de las condiciones climáticas y ambientales del lugar donde se implementaron las pilas.

Figura 10

Resultados obtenidos de temperatura en el proceso de compostaje para los tres tratamientos y testigo



Las temperaturas registradas en promedio del lugar durante el proceso de elaboración del humus fueron de 15 °C, por lo que el gradiente de temperatura favoreció la pérdida de calor dentro de las pilas. Como consecuencia, en el proceso de compostaje con *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy), la temperatura en los tres niveles de experimentación y el testigo no superaron los 20 °C. Este hecho ocasionó que el sustrato, en este caso, los subproductos del café no se descompongan rápidamente debido a la baja actividad microbiana dentro de las pilas de compost (Ruiz Morales, 2011).

Cabe resaltar que, en el caso de los abonos producidos por lombrices, como el vermicompost, las temperaturas óptimas para el crecimiento y reproducción de las lombrices generalmente oscilan entre 20 °C a 28 °C. Estas temperaturas son ideales para mantener la actividad de las lombrices y

acelerar la descomposición de los materiales orgánicos (Restrepo, Gómez y Escobar, 2014), aunque es importante señalar que las lombrices pueden sobrevivir en un rango de temperatura que va desde 5 °C a 35 °C (Ruiz Morales, 2011; Stack, Wolford, Scherer, y Hawley).

Según lo mencionado, es posible comparar que, en este estudio, la especie animal *Ancognatha scarabaeoides* (Mojojoy) cumplió la función de las lombrices en el proceso de vermicompostaje tradicional, por lo tanto, es importante mencionar que las condiciones óptimas de temperatura pueden ser similares para ambas especies. Por otro lado, los niveles experimentales y el testigo mantuvieron temperaturas ideales para que la especie sobreviva y cumpla la función de descomponer los residuos orgánicos, que en este caso fueron los subproductos de café, dentro de los cuales, durante el proceso se obtuvieron valores medios dentro de los rangos expuestos anteriormente (Nivel 1: 18°C; Nivel 2: 17,4°C; Nivel 3: 17,6°C y Testigo: 17,8°C).

Asimismo, para la temperatura en el proceso de compostaje, la prueba de significancia nos confirma que existe una diferencia no significativa con un valor de H de 0,847 y un valor de $p > 0,005$. Estos valores se encuentran en un rango de aceptación del 95%. Además, el tamaño del efecto observado es muy pequeño, -0,046. Esto indica que la magnitud de la diferencia entre el promedio es muy pequeña, incluso si hubiera diferencias, estas serían tan pequeñas que no tendrían una relevancia práctica significativa.

Según lo mencionado anteriormente, la temperatura del compost se comportó de manera óptima, facilitando así que la especie compostera asegurara la descomposición eficiente del material vegetal en los tres niveles de estudio. No obstante, las condiciones climáticas desempeñaron un papel crucial al contribuir a la pérdida de calor dentro de las pilas. Además, esta situación podría atribuirse al volumen de la mezcla de suelo y subproductos de café en cada pila, ya que es posible que las pilas con mayor volumen experimentaran un aumento en la temperatura (Bustinza y Gomero, 2023).

2.2.3.2. Análisis de correlación entre variables por niveles. Se realizó una prueba de correlación de Spearman, esta es una prueba no paramétrica utilizada para evaluar la relación entre dos variables. Esta prueba es utilizada cuando los datos no siguen una distribución normal o cuando la relación no es necesariamente lineal, es necesario tener en cuenta la significancia, esto para poder corroborar la significancia de las correlaciones presentadas. Esta prueba fue realizada para los tres niveles de estudio, donde se sometieron a esta prueba las variables de cada uno de ellos y determinar su relación.

Tabla 7

Correlación de Spearman para variables del nivel 1

Variables	pH	Humedad	CE	Temperatura
pH	1	-0,164 (p = 0,027)	-0,091 (p = 0,008)	-0,127 (p = 0,016)
Humedad	-0,164 (p = 0,027)	1	0,733 (p = 0,538)	0,503 (p = 0, 253)
CE	-0,091 (p = 0,008)	0,733 (p = 0,538)	1	0,430 (p = 0,158)
Temperatura	-0,127 (p = 0,016)	0,503 (p = 0, 253)	0,430 (p = 0,158)	1

Para el nivel 1, para las variables temperatura y humedad, se observó un coeficiente de correlación de Spearman de 0,503, esto indica que en el proceso de compost hay una relación positiva moderada entre estas dos variables, es decir que, a medida que la temperatura incrementa la humedad también tiende a aumentar o viceversa. En otras palabras, hay una tendencia a que ambas variables se comporten de la misma manera, en este caso, que incrementen.

Cabe resaltar que, el valor estadístico de significancia fue de 0,253, esto quiere decir que, al ser este valor mayor a 0,05, esta correlación no es significativa, sin embargo, no se puede descartar

que existe una correlación entre las variables. Esto debido a que, la humedad es esencial para el desarrollo de los microorganismos que descomponen la materia orgánica; y la temperatura, por su parte, afecta la velocidad de dicha descomposición (Arias-Hernández, 1995). Cabe resaltar que, se deben mantener en rangos óptimos estas dos variables para lograr y favorecer la actividad microbiológica y su descomposición.

Por otra parte, las variables humedad y CE, en la prueba de correlación de Spearman, se obtuvo un valor de 0,733, esto nos indica que, existe una relación positiva moderadamente fuerte entre estas dos variables, puesto que, si incrementa una variable, la otra también tiende a aumentar. No obstante, en esta prueba, el p-valor fue de 0,538, lo que nos indica que no existe una correlación significativa, pero no se puede concluir de manera definitiva este fenómeno. La CE es un parámetro importante para determinar la calidad del compost, debido a la presencia de ácidos orgánicos por la descomposición de los subproductos del café. Por otra parte, la humedad es un factor determinante en la concentración de CE, a medida que aumenta la humedad, aumenta la cantidad de agua para disolver iones. Por lo tanto, la CE del compost posiblemente aumenta cuando aumenta la humedad presente (Díaz Arca, 2017).

Tabla 8

Correlación de Spearman para variables del nivel 2

Variab	pH	Humedad	CE	Temperatura
pH	1	-0,033 (p = 0,001)	-0,100 (p = 0,010)	0,600 (p = 0,360)
Humedad	-0,033 (p = 0,001)	1	0,500 (p = 0,250)	0,367 (p = 0,134)
CE	-0,100 (p = 0,010)	0,500 (p = 0,001)	1	0,317 (p = 0,100)
Temperatura	0,600	0,367	0,317	1

(p = 0,360)

(p = 0,134)

(p = 0,100)

Para el caso del nivel 2, el coeficiente de evaluación de Spearman para las variables de pH y temperatura fue de 0,600, indica una correlación positiva moderada entre ambas variables. Esto significa que, en general, cuando la temperatura aumenta, es probable que el pH también aumenta, y viceversa. Además, el valor de p de 0,360, nos indica que aún existe cierta variabilidad en los datos que no explica completamente en esta correlación. Estas dos variables son importantes ya que afectan el proceso de compostaje. La temperatura afecta la velocidad de descomposición, mientras que el pH afecta la actividad microbiana (Ruiz Morales, 2011). Por lo tanto, a temperaturas más altas, el pH también tiende a aumentar. Un pH demasiado bajo o demasiado alto puede ralentizar o detener el proceso de descomposición, debido a la inactividad de los microorganismos (Bueno et al., 2008).

Asimismo, para las variables de humedad y CE, el coeficiente de Spearman de 0,500, también sugiere una correlación positiva débil entre ambas variables, para este caso, el p-valor es de 0,001, lo que sugiere que la correlación entre la humedad y CE es estadísticamente significativa, es decir, que a medida que aumenta la humedad la CE también aumenta, y viceversa.

Se debe tener en cuenta que, esta relación se da debido a la presencia de iones generados por la descomposición microbiológica oxidativa de los compuestos orgánicos de los subproductos de café (García, Gil, y Carillo, 2009) y la cantidad de humedad en el compost, debido a que, a mayor humedad, se incrementa la disponibilidad para disolver iones y por ende aumenta la CE en el proceso (Díaz Arca, 2017).

Tabla 9

Correlación de Spearman para variables del nivel 3

Variab	pH	Humedad	CE	Temperatura
pH	1	0,783	0,000	0,583

		(p = 0,614)	(p = 0,000)	(p = 0,340)
Humedad	0,783 (p = 0,614)	1	0,017 (p = 0,000)	0,417 (p = 0,174)
CE	0,000 (p = 0,000)	0,017 (p = 0,000)	1	0,167 (p = 0,028)
Temperatura	0,583 (p = 0,340)	0,417 (p = 0,174)	0,167 (p = 0,028)	1

En este caso, el coeficiente de Spearman $r_s = 0,783$ indica que existe una correlación positiva moderadamente fuerte entre la humedad y el pH. Esto significa que a medida que la humedad aumenta, el pH tiende a aumentar en el conjunto de datos analizado, y viceversa, por otra parte, se tiene un valor p de 0,614, que al ser mayor a 0,05, no se puede concluir de manera definitiva que exista una correlación significativa entre la humedad y el pH.

Aunque estas variables no presentan una correlación significativa, se debe tener en cuenta que es de gran importancia que se relacionan, ya que la humedad es un parámetro estrechamente vinculado a la actividad de los microorganismos (Román, Martínez, y Pantoja, 2013), y el pH puede condicionar la actividad biológica que degrada la materia orgánica y puede seleccionar a las poblaciones microbianas presentes en cada momento (Tortosa, 2013).

El valor del coeficiente de correlación entre pH y temperatura es de 0,583, lo que indica una correlación positiva entre estas variables, que se encuentra en el intervalo de -1 a 1. Esta relación implica que, en términos generales, existe una tendencia a que el pH aumente con el incremento de la temperatura, y viceversa. No obstante, la falta de proximidad al valor de 1 sugiere que la correlación no es perfecta.

El valor p asociado, 0,340, empleado para determinar la significancia estadística de la correlación, supera el umbral comúnmente aceptado de 0,05. En consecuencia, no se dispone de

suficiente evidencia para descartar la hipótesis nula que postula la ausencia de una correlación significativa entre el pH y la temperatura.

Es importante destacar que el pH desempeña un papel crucial en los abonos orgánicos, mientras que la temperatura es un indicador clave de la actividad microbiana, siendo un parámetro de control común en el proceso de compostaje. La relación entre estas variables es esencial para comprender y optimizar el proceso (Tortosa, 2013).

Por último, el coeficiente de correlación para las variables temperatura y humedad es de 0,417, lo que también indica una correlación positiva entre ellas, es decir, cuando una variable aumenta, la otra también. Se observa que el valor de p es de 0,174 este es mayor que el nivel de significancia comúnmente utilizado. Esto quiere decir que no existe una correlación significativa.

La relación de estas dos variables es importante para los abonos orgánicos, ya que, la humedad adecuada es esencial para la actividad microbiana en el compostaje. La presencia de agua permite que los microorganismos descompongan la materia orgánica de manera efectiva (Polprasert, 2007). Con respecto a la temperatura, ésta acelera la descomposición de la materia orgánica. Los microorganismos son más activos a temperaturas específicas, y la descomposición es más rápida en un rango de temperatura adecuado (Eklind y Kirchmann, 2000).

2.3. Análisis de las diferencias en el contenido de nutrientes que presenta el humus obtenido en los tratamientos

Para llevar a cabo el tercer objetivo, se cuantificó los nutrientes de interés de cada una de las pilas de compostaje, esto con el fin de determinar, si este proceso que se llevó a cabo fue satisfactorio. Como se había mencionado anteriormente, se tuvo en cuenta las concentraciones iniciales de la mezcla de los tres niveles implementados del proceso de compostaje para determinar dichas diferencias. Estas concentraciones se pueden observar en la Tabla 5.

Además, al finalizar el proceso de compostaje en la obtención de humus, también se cuantifican los nutrientes de interés, estos se observan en la Tabla 10.

Tabla 9

Nutrientes finales del proceso del compost

Nutriente	Unidades	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Nitrógeno	%	0,136	0,287	0,214
Fósforo	mg/L	1,466	0,393	0,329
Potasio	mg/L	1,16	0,666	0,374
Sodio	mg/L	29,477	27,899	24,07

2.3.1. Nitrógeno (N)

La concentración de nitrógeno en el humus obtenido en los tres niveles (N1, N2 y N3) fue de 0,136%, 0,287% y 0,214%, respectivamente. Estos valores se encuentran significativamente por debajo de los resultados obtenidos por Nuñez Martos (2019), quien reportó un porcentaje del 1,42% de nitrógeno en el lombricompost de pulpa de café. Asimismo, los resultados están por debajo de los reportados por Albarracín Sánchez et al. (2018), quienes encontraron un 1,04% de nitrógeno en un bioabono de residuos de poda mediante compostaje aerotérmico.

Es relevante destacar que la concentración de nitrógeno en el humus del N1 experimentó una disminución durante el proceso de compostaje en comparación con su concentración inicial, que fue de 0,186%. Esta disminución podría atribuirse al consumo de este nutriente por la especie utilizada en la descomposición del material vegetal y debido al arrastre de nitritos, nitratos y sales amoniacales en el agua aplicada para humedecer la mezcla. Además, se señala que el contenido de nitrógeno en el humus está estrechamente vinculado con las variables de control, las cuales contribuyen al contenido final de nitrógeno en el compost (Arias-Hernandez, 1995).

En contraste, en los niveles 2 y 3 se observó un aumento en la concentración de nitrógeno al finalizar el proceso en comparación con los porcentajes iniciales. En este caso, se sugiere que este aumento está directamente influenciado por la cantidad de suelo presente en estos niveles, siendo

este último el principal contribuyente al contenido de nitrógeno debido a su porcentaje más elevado de 0,264% con respecto a los subproductos de café que contienen un porcentaje de nitrógeno de 0,097%. Además, este fenómeno puede atribuirse a la proporción de suelo utilizada en estos dos niveles, dado que el porcentaje de suelo estaba en mayor proporción que la de los subproductos de café. En consecuencia, la disponibilidad de nitrógeno para el N1 y N2 está directamente relacionada con la concentración del suelo objeto de estudio que es de 0,264%.

2.3.2. Fósforo (P)

El nutriente fósforo (P) es esencial para el crecimiento de las plantas y favorece a microorganismos que participan en la descomposición de contaminantes, puede experimentar cambios en su concentración durante el proceso de compostaje. En el nivel 1, se observa la concentración inicial de fósforo de 1,226 mg/l que aumentó a 1,466 mg/l al finalizar el compostaje. Este incremento podría deberse a la liberación de fósforo proveniente de la materia orgánica en descomposición y la actividad microbiana durante el proceso (Román, Martínez, y Pantoja, 2013). Además, se suma a esto la cantidad de subproductos de café presente en el N1, lo que facilita la liberación mediante el proceso de descomposición y contribuye al aumento de fósforo en su contenido final del humus.

Para el nivel 2, la concentración inicial fue de 1,329 mg/l, disminuyendo significativamente a 0,393 mg/l, esta reducción podría ser consecuencia del proceso de inmovilización donde el fósforo se une a otros compuestos orgánicos o minerales, volviéndose menos accesible. Asimismo, el nivel 3 también presentó una disminución, inicialmente obtuvo una concentración de 1,386 mg/l y finalizó en 0,329 mg/l, debido a factores como la lixiviación y volatilización durante el proceso de compostaje donde influyen directamente las variables de seguimiento (Puentes Contreras y Coronado Rojas, 2014).

Adicionalmente, estudios realizados por autores como Blandón-Castaño et al. (1999) y Nuñez Martos (2019) han informado valores de fósforo (P) de 0,44% y 0,80%, respectivamente, en lombricompost elaborado con pulpa de café. Estos valores superan los obtenidos en la presente investigación, donde se registraron porcentajes de 0,0282% para el N1, 0,0065% para el N2 y 0,00506% para el nivel 3, porcentajes que se sitúan fuera de dicho rango.

No obstante, autores como Albarracín Sánchez et al. (2018), en su estudio, reportan un porcentaje de 0,013% para un bioabono producido a partir de residuos de poda, resultados similares a los encontrados para el N1 en este estudio. Esta concordancia puede atribuirse al proceso de descomposición del material orgánico mediante el uso de Mojojoy por la liberación de P durante el proceso.

2.3.3. Potasio (K)

Los porcentajes de este nutriente en el humus del N1 muestran una concentración inicial de 0,796 mg/L (0,0306 %) y una concentración final de 1,16 mg/L (0,0446%), indicando un aumento en este componente. Este incremento se atribuye a la aplicación de la técnica de vermicompostaje con mojoy, la cual posibilita la reducción de la cantidad de residuos orgánicos generados y su transformación en un recurso valioso, el vermicompost o humus. Este proceso favorece la presencia de nutrientes en el nivel correspondiente (Mikolic et al., 2018).

Para el N2 presenta concentración inicial de 0,781 mg/L (0,0258%) y una final de 0,666 mg/L (0,0219%) indicando una disminución. Asimismo, para el N3, se observa una reducción en la concentración de este nutriente de 0,772 mg/L (0,0237%) a 0,374 mg/L (0,0115%). Sin embargo, en comparación con el estudio de Mencía Guevara y Reyes Medina (2018), quienes reportan un porcentaje de 2,1% de potasio para un compost a base de pulpa de café; la disminución del nutriente en este estudio se puede presentar debido a que, con el tiempo, los materiales orgánicos se descomponen y pueden perder nutrientes esenciales. La velocidad de descomposición y la pérdida de nutrientes pueden depender de factores como la temperatura, la humedad y la presencia de microorganismos descomponedores. Es importante señalar que, durante la hidratación en el proceso de compost, se facilita la liberación de este elemento en las pilas implementadas (Arias-Hernandez, 1995).

Estas variables están estrechamente ligadas al proceso de maduración del humus, ya que facilitan la descomposición del material vegetal en las pilas. En consecuencia, influyen directamente en el contenido de nutrientes presente en el humus resultante. Las variaciones en la

concentración de este nutriente entre los tres niveles pueden ser atribuidas al contenido inicial de materia orgánica en cada pila. Por ende, esta concentración se ve influenciada por dicha característica, dado que los subproductos de café contienen niveles de potasio considerablemente más elevados que los presentes en el suelo. De esta manera, el N1 obtuvo una concentración superior al finalizar el proceso en comparación con el N2 y el N3.

2.3.4. Sodio (Na)

En cuanto a este nutriente, se observó un aumento en los tres niveles, con los siguientes resultados, para el N1, se registró un valor inicial de 17,218 mg/L (0,662%) y un valor final de 29,477 mg/L (1,132%), para el N2 los valores fueron de 11,971 mg/L (0,395%) al inicio y 27,899 mg/L (0,922%) al final del proceso; y para el N3, se presentaron valores de 9,071 mg/L (0,279%) inicialmente y 24,07 mg/L (0,741%) en el final. En comparación con el análisis del compost realizado por Muñoz et al. (2015), quienes obtuvieron un valor de sodio de 0,767%, y se destaca que el sodio es un nutriente importante, en pequeñas cantidades, el sodio puede contribuir a la estabilidad de la estructura del suelo al promover la agregación del suelo.

En este estudio, se confirma un aumento significativo de este nutriente para los tres niveles. Los resultados obtenidos revelan porcentajes superiores en comparación con los datos proporcionados por los autores previamente citados. Este hallazgo sugiere que la especie animal *mojojoy* cumple de manera efectiva con su función de descomponer la materia orgánica, transformándola en un humus con valores nutricionales representativos. Estos nutrientes, al incorporarse a la estructura del suelo, pueden ser asimilados por las plantas, como lo señalan Fierro-Cabrales et al. (2018).

2.3.5. Diferencias entre los tratamientos por variación del sustrato

Considerando la información previamente expuesta, se destacan diferencias en la concentración de nutrientes entre los tres tratamientos implementados. En el nivel 1, se observa un aumento de 0,24 mg/L en fósforo, 12,26 mg/L en potasio y 0,36 mg/L en sodio con respecto a las concentraciones iniciales de la mezcla de este mismo nivel. Este incremento se atribuye al vermicompostaje

realizado con la especie animal mojoy, que no solo favorece el aumento de nutrientes esenciales, sino también la mejora de la estructura del suelo.

Por otra parte, para el nitrógeno se observó una disminución de 0,05%, al igual que el nivel 3, con una disminución de 0,023%. Este descenso podría atribuirse a que durante el proceso de vermicompostaje los microorganismos presentes utilizan el nitrógeno como fuente de alimento y a medida que descomponen la materia orgánica, pueden consumir parte del nitrógeno presente en ella, lo que puede resultar en una disminución de la concentración en el humus resultante. Además, se pueden presentar pérdidas por lixiviación debido a la humectación de las mezclas.

En contraste, para el nivel 2, se evidenció un aumento del 0,067% en nitrógeno y un incremento de 15,93 mg/L en potasio. Esto debido a la cantidad de suelo presente en este nivel, el cual influyó directamente en la concentración final en el humus. No obstante, se observa una disminución de 0,93 mg/L en fósforo y 0,12 mg/L en sodio.

Para el nivel 3, también se observó una disminución en la concentración de 1,05 mg/L del nutriente fósforo y 0,39 mg/L de sodio. Al contrario, en este nivel solamente se observó un incremento de la concentración final del humus para el nutriente potasio que fue de 14,99 mg/L.

A partir de la información expuesta anteriormente, las diferencias presentadas entre los niveles 1, 2 y 3, teniendo en cuenta las concentraciones iniciales y finales de las mezclas, pueden ser atribuidas a las cantidades de subproductos de café y suelo agregadas a cada nivel (Tabla 4). En el nivel 1, caracterizado por una mayor cantidad de subproductos de café, se infiere que las concentraciones de nutrientes están vinculadas a este sustrato. Esto se debe a la efectiva descomposición del material vegetal en este nivel, favorecida por la actividad microbiana de acuerdo con los parámetros de estabilización, ya que el nivel 1 se ajustó a los rangos recomendados para pH y conductividad eléctrica, el pH finalizó con una tendencia neutra de 8,282, mientras que la CE se aproximó más a los valores ideales de 2,0 a 4,0 mS/cm, con un promedio de 1,504 mS/cm. A pesar de que el porcentaje de humedad no alcanzó los niveles óptimos de 40-60%, en el nivel 1 se observó una descomposición satisfactoria del material, asegurando la producción de un humus de calidad, por otra parte la temperatura se comportó de manera óptima en los tres niveles,

manteniéndose entre 15-20°C, rango ideal para la actividad de la especie compostera *Ancognatha scarabaeoides*, además existen correlaciones significativas entre las variables humedad-CE y pH-temperatura, debido a su influencia mutua en el proceso de compostaje.

Por otro lado, en los niveles 2 y 3, la proporción de suelo fue mayor, por lo tanto, tuvo un impacto directo en la concentración de los nutrientes presentes en el humus. Sin embargo, en estos niveles, no se lograron los rangos óptimos en las variables de seguimiento. El pH finalizó por debajo de 7, lo cual es perjudicial, ya que induce a la inactivación microbiana y, por ende, a la descomposición insuficiente del material vegetal influyendo directamente en el contenido de los nutrientes para estos dos niveles. Además, la CE se mantuvo consistentemente por debajo de 1 mS/cm durante todo el proceso, significativamente inferior a los valores ideales para considerar un compost de calidad.

3. Conclusiones

En la investigación, se respalda la hipótesis planteada al identificar diferencias en el contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y sodio entre los tres niveles de compostaje implementados para la obtención de humus, los cuales variaron en la proporción de sustratos utilizados (subproductos de café y suelo), producido mediante el compostaje con Mojojoy.

En particular, el nivel 1 presentó un aumento en el humus obtenido en fósforo, sodio y potasio, lo que se atribuye a la mayor proporción de subproductos de café, los cuales facilitaron la liberación de nutrientes a través de la descomposición microbiana, al haberse ajustado a las condiciones óptimas durante el proceso. Por otro lado, en los niveles 2 y 3 se observaron variaciones en la concentración de nutrientes, lo cual se relaciona directamente con la mayor proporción de suelo utilizada, e influyó en la disponibilidad final de nutrientes.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica revelan que los subproductos de café tienen un pH ácido de 5,78, lo que podría incidir en el intercambio de aluminio en el suelo. Se observa variabilidad en el contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en estos subproductos, destacándose notables concentraciones de azúcares (49,03 mg/L) y grasas y aceites (22,48%). Estos hallazgos indican que este residuo posee una considerable riqueza nutricional, convirtiéndose en un candidato idóneo para la producción de humus mediante procesos como el compostaje o vermicompostaje. Esta práctica no sólo aprovecharía eficazmente los nutrientes presentes en los subproductos, sino que también contribuiría a mitigar los impactos ambientales derivados de la actividad agrícola cafetera.

Es importante resaltar que, los parámetros de seguimiento como pH, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad y temperatura son esenciales para determinar la estabilidad y calidad del proceso de compostaje, estos parámetros deben mantenerse dentro de rangos óptimos para garantizar una adecuada descomposición del material orgánico. Por tanto, se concluye que el nivel 1, con una proporción del 65% de subproductos de café y 30% de suelo, es el tratamiento más adecuado para la elaboración de compost con *Ancognatha scarabaeoides* a partir de residuos de café.

Es importante conocer la composición nutricional del compost, dado que este se emplea como enmienda del suelo con el propósito de mejorar su estructura y suministrar nutrientes. Conocer esta composición ayuda a entender cuánto y qué tipo de nutrientes se están incorporando al suelo. Esto es esencial para planificar aplicaciones de compost de manera eficiente y prevenir desequilibrios nutricionales.

Ancognatha scarabaeoides demuestra ser una especie altamente eficiente como compostera al interactuar positivamente dentro de un proceso de compostaje. Durante su participación en el proceso, *Ancognatha scarabaeoides* exhibe una capacidad sobresaliente para acelerar la descomposición de residuos orgánicos, contribuyendo así a la generación de un compost de alta calidad. Su actividad facilita la descomposición de materiales difíciles, promoviendo la recirculación de nutrientes en el ecosistema y mejorando la fertilidad del suelo. No obstante, la transición a su fase adulta plantea un cambio significativo en su comportamiento, ya que *Ancognatha scarabaeoides* puede pasar de ser un agente benéfico en el compostaje a convertirse en una potencial plaga perjudicial para la sociedad. En esta etapa, su actividad depredadora puede afectar negativamente a cultivos agrícolas y a la flora local, generando desequilibrios en los ecosistemas circundantes.

4. Recomendaciones

Se recomienda realizar todo el proceso de compostaje con una misma especie de café para no tener variaciones en los resultados fisicoquímicos y en la cuantificación de los nutrientes.

Realizar un aprovechamiento de los subproductos del beneficio húmedo del café, en este caso en el proceso de compostaje, ya que son fuente rica en nutrientes, antes de ser vertidos directamente al suelo.

Se recomienda realizar una investigación más profunda sobre las propiedades específicas de la especie animal “*Ancognatha scarabaeoides*” (mojojoy) y su impacto en el compostaje de pulpa de café. Además, se recomienda la aplicación de este producto resultante del compostaje como una enmienda orgánica para mejorar la estructura de suelos contaminados y prevenir la degradación de los recursos naturales.

Llevar a cabo un monitoreo detallado del proceso de compostaje desde el inicio hasta la finalización, incluyendo parámetros clave como temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica para evaluar la eficacia del compostaje e identificar posibles mejoras.

Se debe realizar una calibración y verificaciones constantes a los equipos de laboratorio que garanticen resultados confiables durante la experimentación.

Dentro del marco de la investigación se recomienda llevar a cabo mediciones detalladas de materia orgánica en el suelo y subproductos de café.

Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales sobre el compost, sus niveles y aplicaciones, utilizando la información proporcionada en el presente trabajo como punto de partida.

Referencias bibliográficas

- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*.
- AGROLAB. (2011). *Guía de referencia para la interpretación análisis de suelos agrolab*. Retrieved from AGROLAB: https://www.agrolab.com.mx/sitev002/sitev001/assets/interpretacion_fertsuel.pdf
- AGRONET. (2015). *Red de información y comunicación del sector agropecuario*. Retrieved from <https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>
- Agrotecnia. (2016, mayo). *Tabla Munsell y su correcto uso en la descripción de los suelos*. Retrieved from PortalFruticola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/05/21/el-correcto-uso-de-tabla-munsell-en-la-descripcion-de-los-suelos/>
- Albarracín Sánchez, D. M., Roa Parra, A. L., Solano Ortega, F., & Montañez Acevedo, G. (2018). Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda. *Revista Bistua Facultad de ciencias básicas*.
- Aranda, E., Sampedro, I., Arriaga, C., Díaz, R., García, M., Ocampo, J. A., & García, R. I. (2008). Transformación de los residuos procedentes del olivo mediante cepas fúngicas. In: tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos. *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología*.
- Arias-Hernandez, J. J. (1995). Caracterización de la pulpa de café en diferentes tiempos de descomposición y su efecto en almácigos de café. *Universidad de Caldas*.
- Bello Gutiérrez, J. (2014). *Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos.

- Bio-Nica, B. V. (n.d.). *Producción de abonos orgánicos*. Retrieved from Bio-Nica: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/anonimoproduccionabonosorganicos.pdf>
- Blandón-Castaño, G., Dávila-Arias, M. T., & Rodríguez-Valencia, N. (1999). Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé*.
- Blandon-Castaño, G., Rodríguez-Valencia, N., & Dávila-Arias, M. T. (1998). Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *CENICAFÉ*.
- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Universidad de La Salle - Ediciones Unisalle. Retrieved from <https://elibro.net/es/ereader/umariana/215010?page=8>
- Bohórquez, A., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2014). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*.
- Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera Capitán. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje.
- Buesaquillo Quemag, M. I., & Casanova Torres, L. A. (2014). Evaluación de tres alternativas técnico ambientales para el aprovechamiento de residuos orgánicos producidos en los barrios san francisco y condominio municipio valle del Guamuez, Putumayo.
- Bustanza, R., & Gomero, L. (2023). Optimización del proceso de compostaje con la pulpa de café en el anexo Unión Pucusani (Chanchamayo - Junín). *IDESIA*.
- Cartay, R. (2018). Entre el asombro y el asco: el consumo de insectos en la cuenca amazónica. El caso del *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera Curculionidae). *Revista Colombiana de Antropología*.

Castellanos Rodríguez, P. D. (2020). Estrategias y tendencias del aprovechamiento de la pulpa y mucílago del café en Colombia. Retrieved from <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38792>

Cerda, H., Martínez, R., Briceño, N., Pizzoferrato, L., Marin, O., Ponzetta, T., . . . Maurizio, P. (2001). Palm worm: (*Rhynchophorus palmarum*) traditional food in Amazonas, Venezuela—nutritional composition, small scale production and tourist palatability. *Ecology of Food and Nutrition*.

Cerquera Vargas, M. d. (2022). Evaluación de las diferentes estrategias de aprovechamiento de la pulpa de café en la finca la Lindosa, Palermo, Huila, Colombia. *Fundación Universidad de América*.

Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*.

Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: el pH y la conductividad eléctrica. *EEA Bariloche*.

Criollo Escobar, H., Lagos Burbano, T. C., Bacca Ibarra, T., & Muñoz Belalcazar, J. A. (2016). Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*.

De Compostaje, R. E. (2014). *Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones III.5*. Madrid, Spain: Mundi-Prensa. Retrieved from <https://elibro.net/es/ereader/umariana/55262?page=17>.

De Compostaje, R. E. (2015). *Residuos orgánicos y agricultura intensiva III.1*. Madrid, Spain: Mundi-Prensa. Retrieved from <https://elibro.net/es/ereader/umariana/55269?page=21>

Díaz Arca, O. A. (2017). Aplicación de aditivos minerales para la reducción de pérdidas de nitrógeno por volatilización durante el compostaje de pulpa de café. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.

Durán-Umaña, L., & Henríquez-Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en la planta. *Agronomía Mesoamericana*, 85-93.

Eklind, Y., & Kirchmann, H. (2000). Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover. *Bioresource Technology*.

Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N., & Quichimbo, A. (2017). Ensilaje de pulpa de café con la aplicación de aditivos en el cantón de Loja. *Bosques Latitud Cero*.

Escobar, F., Ponce, S., & Azero A, M. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*.

FAO. (1996). *Producción de alimentos e impacto ambiental*. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/3/w2612s/w2612s11.htm>

FAO. (2015). *La FAO en Acción; Año internacional de suelos*. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/Fact_sheets/Es_IYS_Veg_Print.pdf

FAO. (n.d.). *Propiedades Físicas del Suelo*. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, F. (n.d.). *Manual del Cafetero Colombiano*. Retrieved from <https://federaciondefeteros.org/wp/>

Fertilab. (n.d.). *Propiedades fisicoquímicas del suelo y el crecimiento de las plantas*. Retrieved from Fertilab: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-012-Propiedades-fisicoquimicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas.pdf>

Fierro-Cabrales, N., Contreras-Oliva, A., González-Ríos, O., Rosas-Mendoza, E., & Morales-Ramos, V. (2018). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). *Agroproductividad*.

Garavito Poveda, J. D., & López Perdomo, A. F. (2022). Pulpa de café como compost orgánico: un estudio de caso para la promoción de la competencia del sentido de responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17372>

García Martínez, E., & Fernández Segovia, I. (n.d.). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16339/Determinaci%c3%b3n%20de%20humedad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, F., Gil, P., & Carillo, A. (2009). Caracterización y calidad de un abono orgánico fermentado AOF preparado con residuos del proceso de industrialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Logos, Ciencia y Tecnología*.

Gonzales, P., & García, U. (1992). “Ciclo biológico de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera Curculionidae) sobre *Washingtonia robusta* en laboratorio”. *Revista Peruana de Entomología*.

Gonzalez Briceño, F. H. (2016). Caracterización físico-química y microbiológica de suelos paramunos del P.N.N. Sumapaz sometidos al cultivo convencional y orgánico de papa post-descanso de actividad agrícola. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.

- González García, Y., Gonzáles Reynoso, O., & Nungaray Arellano, J. (2005). Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis*.
- Hafner, G., Reiser, M., & San Martín Ruiz, M. (n.d.). *Principios básicos del compostaje de pulpa de café*. Retrieved from Instituto del café de Costa Rica: https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/industrializacion/Manual_compostaje_pulpa.pdf
- He, Z., & Zhang, H. (2014). Applied manure and nutrient chemistry for sustainable agriculture and environment. In Z. He, & H. Zhang, *Applied manure and nutrient chemistry for sustainable agriculture and environment*. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8807-6>
- Hirzel, J. (2004). Fertilización de cultivo. *Boletín de trigo*.
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Monografía. *Universidad de Antioquia*.
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Jarpa, P. (2003). Medición del pH de 12 preparaciones distintas de pasta de tabaco de mascar, relacionándolas con la adición a la nicotina. *Revista de la Facultad de Farmacia*.
- Khan, M. B., Cui, X., Jilani, G., Ting, Y., Zehra, A., Hamid, Y., . . . He, Z. (2019). Preincubation and vermicomposting of divergent biosolids exhibit vice versa multielements stoichiometry and earthworm physiology. *Journal of Environmental Management*, 144-156.
- Linlin, C., Xiaoqiang, G., Hao, D., Suyan, L., Dan, H., Kefei, Y., . . . Muhammad, A. M. (2022). Vermicomposting with food processing waste mixtures of soybean meal and sugarcane bagasse. *Environmental Technology & Innovation*.

- López Díaz, M., & Estrada Medina, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrocencias*.
- López, P., Felipe, A., & Garavito Poveda, J. D. (2022). Pulpa de café como compost orgánico: Un estudio de caso para la promoción de la competencia del sentido de responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras. *Universidad Pedagógica Nacional*.
- Ludeña Quinde, G., & Saavedra Huamán, R. (2020). Aprovechamiento de la pulpa del café (*Coffea arábica* L) para incrementar la materia orgánica de los suelos del distrito de San Ignacio. Retrieved from <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00>
- Martínez, K., Sanchez Fuentes, J. P., Raga, Y., Mármol, Z., Arenas, E., & Aiello-Mazzarri, C. (2015). Cuantificación y caracterización de los residuos de alimentos del comedor central estudiantil de la Universidad del Zulia. *Revista Tecnocientífica URU*.
- Martínez-Alemán, S. R., Hernández-Castillo, F. D., Aguilar-González, C. N., & Rodríguez-Herrera, R. (2018). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 73-79.
- Mencía Guevara, R. A., & Reyes Medina, D. R. (2018). Evaluación de abonos orgánicos a base de pulpa de café, en el cultivo de lechuga cv. Kristine y Versai. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11036/6438>
- Méndez-Matías, A., Robles, C., Ruiz-Vega, J., & Castañeda-Hidalgo, E. (2018). Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Mikolic, C., Ruffinelli, S., Dárdano, B., Jorge Escudero, G., Andreoni, I., Gómez, A., & Basile, D. (2018). Manual de vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos. *Montevideo Ambiente*.

- Monsalve Camacho, O. I., Gutiérrez Díaz, J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 200-209.
- Morcillo Ortega, G., & Portela Peñas, I. (2010). *Biología Básica*. Madrid: Sanz y Torres.
- Moreno Clavijo, N., & Romero Jiménez, A. A. (2016). Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras. Retrieved from <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2620>
- Moreno Ruiz, G., & Alvarado Alvarado, G. (2000). La variedad Colombia: veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. *Cenicafé*.
- Morionez Ruiz, M. L., & Montes-Rojas, C. (2017). Aporte de *Tithonia diversifolia* en abonos orgánicos: efecto en producción y suelo en Cauca, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- Muñoz, J. M., Muñoz, J. A., & Montes, C. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 73-82.
- Murillo Baca, S. M., Otárola Gamarra, A., Torres Suarez, W. J., Rodríguez Huatay, J. H., & Buendía Ponce, H. R. (2018). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de pulpa de café (*coffea arabica*) en el color, textura y contenido de minerales en galletas dulces. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
- Otterpohl, R., Grottker, M., & Lange, J. (1997). Gestión sostenible del agua y de los residuos en zonas urbanas. *Boletín CF+S*.
- Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. *Pontificia Universidad Católica Argentina*.

- Perez, D., & Iannacone, J. (2006). Aspectos de la bioecología de *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus) (Coleóptera: Curculionidae) en el pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.) (Arecaceae), en la Amazonia peruana. *Revista Peruana de Entomología*.
- Pierre, F., Rosell, M., Quiroz, A., & Granda, Y. (2009). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en caspito municipio Andrés Eloy blanco, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*.
- Pinzon Casas, R. D. (2016). Producción, recolección y disposición de residuos sólidos urbanos, análisis del sistema de gestión en el municipio de Puerto Asís Putumayo. *Universidad de Manizales*.
- Polprasert, C. (2007). *Organic Waste Recycling Technology and Management*. IWA Publishing.
- Puentes Contreras, P. A., & Coronado Rojas, A. J. (2014). Determinación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio presentes en la poda del cultivo de *Proteas Leucadendron*, para la futura reutilización en la elaboración de compost. *Corporación Tecnológica de Bogotá*.
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*.
- Quiroz Guerrero, I., & Pérez Vázquez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1069-1075.
- Ramos-Elorduy, J., & Viejo Montesinos, J. L. (2007). Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Biología*.
- Restrepo Montoya, L. F., & Villa Deossa, G. (2020). Estrategias para el aprovechamiento de la pulpa de café en las fincas cafeteras del municipio de Andes, Antioquia. *Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria*.

- Restrepo, J. M., Gómez, J., & Escobar, R. (2014). Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura. *Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola FIDAR*.
- Röben, E. (2002). Manual de compostaje para municipios. *DED/ Ilustre Municipalidad de Loja*.
- Rodríguez-Valencia, N. (2013). Producción de alcohol a partir de la pulpa de café. *Revista Cenicafé*, 78-93.
- Rodríguez-Valencia, N., Zambrano Franco, D. A., & Ramírez Gómez, C. A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. *Cenicafé*, 111-136.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016, Julio). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>
- Rovira, J. (2016). La acidez en el café, percepción en la boca. *Revista Fórum Café*.
- Ruiz Morales, M. (2011). Taller de elaboración de lombricomposta: porque tener lombrices nos beneficia a todos.
- Sadeghian-Khalajabadi, S., Mejía-Muñoz, B., & Arcila-Pulgarín, J. (2006). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé*.

- Sánchez Espinosa, J. A., & Rubiano Sanabria, Y. (2015). Procesos específicos de formación en andisoles, alfisoles y ultisoles en Colombia. *Revista EIA*, 85-97.
- Serna Rivera, L. F., & Lopez Garcia, S. D. (2010). Actualización del manual de laboratorio de análisis de alimentos del programa de tecnología química de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Universidad Tecnológica de Pereira*.
- Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S., Martínez Cortínez, K., & Hernández Sandoval, M. C. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista ION*. doi: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: Definiciones y procesos. *Centro de Investigaciones Agronómicas*, 27-33.
- Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*.
- Soumaré, M., Tack, F., & Verloo, M. (2003). Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*, 15-20.
- Stack, G., Wolford, R., Scherer, J., & Hawley, M. (n.d.). *El gran escape de la planta*. Retrieved from Extensión de la Universidad de Illinois: https://web.extension.illinois.edu/gpe_sp/case2/index.html
- Swati, A., & Hait, S. (2018). Greenhouse Gas Emission During Composting and Vermicomposting of Organic Wastes – A Review. *Clean - Soil Air Water*.
- Takahashi, T., & Shoji, S. (2002). Distribution and Classification of Volcanic Ash Soils. *Global Environmental Research*, 83-98.

Tamayo Vélez, Á., & Osorio Vega, N. W. (n.d.). *Nutrición y fertilización Características de los suelos*. Retrieved from Editorial Agrosavia: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/162/148/1123-1?inline=1>

Torres Ampuero, C. (2013). Uso de pulpa de café en la elaboración de abonos para incrementar la productividad de café. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*.

Torres-Valenzuela, L. S., Martínez, K. G., Serna-Jimenez, J. A., & Hernández, M. C. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Físicoquímicas. *Información tecnológica*.

Tortosa, G. (2013). *El pH durante el compostaje*. Retrieved from Compostando ciencia: <http://www.compostandociencia.com/2013/11/ph-en-el-compostaje-html/>

Tortosa, G. (2018). *La humedad influye más en la actividad microbiana del compost que su temperatura*. Retrieved from Compostando Ciencia: <http://www.compostandociencia.com/2018/02/la-humedad-influye-mas-en-la-actividad-microbiana-del-compost-que-su-temperatura/>

Triviño Pineda, J. S., Contreras García, J., Amorocho Cruz, C. M., & Sánchez Ramírez, J. E. (2021). Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6-14.

UAESP, & SIPAF. (2014). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. *Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos*.

Urribarrí, A., Zabala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, M., . . . Aiello Mazzarri, C. (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*.

Vargas, G., & Mazón, B. (2004). Determinación de humedad en la pulpa de café. *REVITECA*.

Vargas-Pineda, O., Trujillo-González, J., & Torres-Mora, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *ORINOQUIA - Universidad de los Llanos -Villavicencio, Meta*.

Vasquez de Díaz, C., López, A., Fuentes, B., & Cote, E. (2010). Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*.

Vélez-Lozano, J., Burbano-Orjuela, H., Navia E, J. F., & Gómez L, E. D. (2019). Descomposición de residuos de *Saccharum officinarum* L. y su efecto fertilizante en *Raphanus sativus* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 109-119.

Villegas-Cornelio, Manuel, V., & Laines-Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

Woiciechowski, A., Pandey, A., Machado, C., Cardoso, E., & Soccol, C. (2000). Hydrolysis of Coffee Husk: Process Optimization to Recover Its Fermentable Sugar. *Coffee Biotechnology and Quality*.

Anexos

Anexo A. Cálculos para obtención de los kilogramos en cada nivel

Nivel 1. 65% de subproductos de café, 30% de suelo y 5% de agua.

$$25 L * 65\% \text{ subproductos de café} = 16,25 L * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} = 16250 \text{ cm}^3$$

$$16250 \text{ cm}^3 * 0,3 \frac{g}{\text{cm}^3} = 4875 g = 4,875 kg$$

$$25 L * 30\% \text{ suelo} = 7,5 L * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} = 7500 \text{ cm}^3$$

$$7500 \text{ cm}^3 * 0,72 \frac{g}{\text{cm}^3} = 5400 g = 5,4 kg$$

Nivel 2. 45% de subproductos de café, 50% de suelo y 5% de agua.

$$25 L * 45\% \text{ subproductos de café} = 11,25 L * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} = 11250 \text{ cm}^3$$

$$11250 \text{ cm}^3 * 0,3 \frac{g}{\text{cm}^3} = 3375 g = 3,375 kg$$

$$25 L * 50\% \text{ suelo} = 12,5 L * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} = 12500 \text{ cm}^3$$

$$12500 \text{ cm}^3 * 0,72 \frac{g}{\text{cm}^3} = 9000 g = 9 kg$$

Nivel 3. 30% de subproductos de café, 65% de suelo y 5% de agua.

$$25 L * 30\% \text{ subproductos de café} = 7,5 L * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} = 7500 \text{ cm}^3$$

$$7500 \text{ cm}^3 * 0,3 \frac{g}{\text{cm}^3} = 2250 g = 2,25 kg$$

$$25 L * 65\% \text{ suelo} = 16,25 L * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} = 16250 \text{ cm}^3$$

$$16250 \text{ cm}^3 * 0,72 \frac{g}{\text{cm}^3} = 11700 g = 11,7 kg$$

Anexo B. Concentraciones iniciales de la mezcla

Se hizo uso de la siguiente fórmula

$$V(g_{cafe}) * C + V(g_{suelo}) * C = C_{mezcla}$$

Nivel 1. 65% de subproductos de café, 30% de suelo y 5% de agua.

Nitrógeno

$$4875 \text{ g} * 0,1\% + 5400 \text{ g} * 0,264\% = 0,186\%$$

Fósforo

$$4875 \text{ g} * 0,957 \text{ mg/L} + 5400 \text{ g} * 1,469 \text{ mg/L} = 1,226 \text{ mg/L}$$

Sodio

$$4875 \text{ g} * 0,835 \text{ mg/L} + 5400 \text{ g} * 0,761 \text{ mg/L} = 0,796 \text{ mg/L}$$

Potasio

$$4875 \text{ g} * 30,891 \text{ mg/L} + 5400 \text{ g} * 4,876 \text{ mg/L} = 17,218 \text{ mg/L}$$

Nivel 2. 45% de subproductos de café, 50% de suelo y 5% de agua.

Nitrógeno

$$3375 \text{ g} * 0,1\% + 9000 \text{ g} * 0,264\% = 0,219\%$$

Fósforo

$$3375 \text{ g} * 0,957 \text{ mg/L} + 9000 \text{ g} * 1,469 \text{ mg/L} = 1,329 \text{ mg/L}$$

Sodio

$$3375 \text{ g} * 0,835 \text{ mg/L} + 9000 \text{ g} * 0,761 \text{ mg/L} = 0,781 \text{ mg/L}$$

Potasio

$$3375 \text{ g} * 30,891 \text{ mg/L} + 9000 \text{ g} * 4,876 \text{ mg/L} = 11,971 \text{ mg/L}$$

Nivel 3. 30% de subproductos de café, 65% de suelo y 5% de agua.

Nitrógeno

$$2250 \text{ g} * 0,1\% + 11700 \text{ g} * 0,264\% = 0,237\%$$

Fósforo

$$2250 \text{ g} * 0,957 \text{ mg/L} + 11700 \text{ g} * 1,469 \text{ mg/L} = 1,386 \text{ mg/L}$$

Sodio

$$2250 \text{ g} * 0,835 \text{ mg/L} + 11700 \text{ g} * 0,761 \text{ mg/L} = 0,772 \text{ mg/L}$$

Potasio

$$2250 \text{ g} * 30,891 \text{ mg/L} + 11700 \text{ g} * 4,876 \text{ mg/L} = 9,071 \text{ mg/L}$$

Anexo C. Determinación de Nitrógeno

Determinación Nitrógeno

Se realizó mediante el método de Kjeldahl con una muestra de 1 g. Los resultados obtenidos fueron en mL en el proceso de titulación, estos se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla

Resultados de la titulación en mL para determinación de nitrógeno

Muestra	Titulación (mL)
M1	0,7
M2	0,6
M3	0,8

Luego se hizo uso de la siguiente fórmula para determinar el % de nitrógeno que contienen los subproductos de café.

$$\%N = \frac{1400 * (Vm - Vb) * N}{1000 * Pm}$$

Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla

Porcentaje de nitrógeno en los subproductos de café

Muestra	Peso (g)	% Nitrógeno
M1	1,0005	0,97
M2	1,0003	0,84

M3	1,0000	0,112
PROMEDIO		0,97

Anexo D. Determinación de Fósforo

Se realizó mediante la conversión a fosfomolibdato. La lectura de absorbancia realizada a cada muestra fue a 660 nm.

Tabla

Resultados de absorbancia (nm) obtenidos de fósforo

Muestra	Absorbancia (nm)
M1	0,769
M2	0,405
M3	0,577

Con el promedio obtenido de las diferentes muestras se calcula la concentración de fósforo presente en los subproductos del café. Para realizar este cálculo se hizo uso de la siguiente fórmula que se obtuvo a través de la curva de calibración del fósforo.

$$x = \frac{y + 0,0648}{0,6769}$$

Los resultados obtenidos de concentración de fósforo se pueden observar en la siguiente Tabla

Tabla

Concentración de fósforo en mg/L de los subproductos de café según la absorbancia de cada muestra

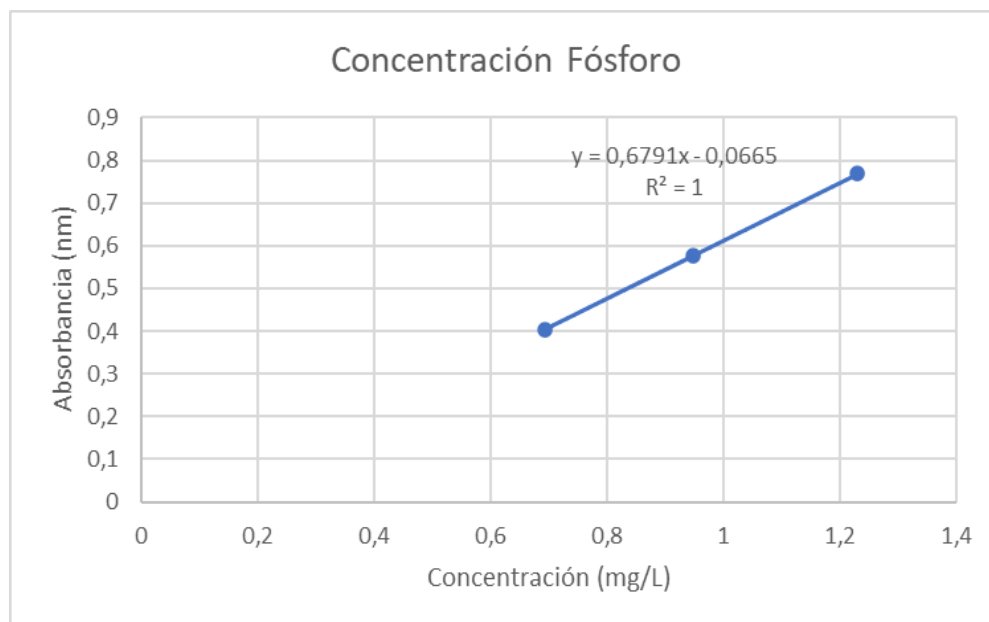
Concentración (mg/L)	Absorbancia (nm)
1,23	0,769

0,694	0,405
-------	-------

0,948	0,577
-------	-------

Figura

Concentración de fósforo en mg/L de los subproductos de café según la absorbancia de cada muestra



Anexo E. Determinación de Azúcares

Se realizó mediante el método del fenol-ácido sulfúrico es un método espectrofotométrico. La lectura de absorbancia realizada a cada muestra fue de 490 nm.

Tabla

Resultados de absorbancia (nm) obtenidos de azúcares

Muestra	Absorbancia (nm)
M1	0,05
M2	0,022
M3	0,016

Con el promedio obtenido de las diferentes muestras se calcula la concentración de azúcares totales presentes en los subproductos del café. Para realizar este cálculo se hizo uso de la siguiente fórmula que se obtuvo a través de la curva de calibración de azúcares.

$$x = \frac{y + 0,0197}{0,001}$$

Los resultados de concentración de azúcares totales se los observa en la siguiente Tabla

Tabla

Concentración de azúcares en mg/L de los subproductos de café según la absorbancia de cada muestra

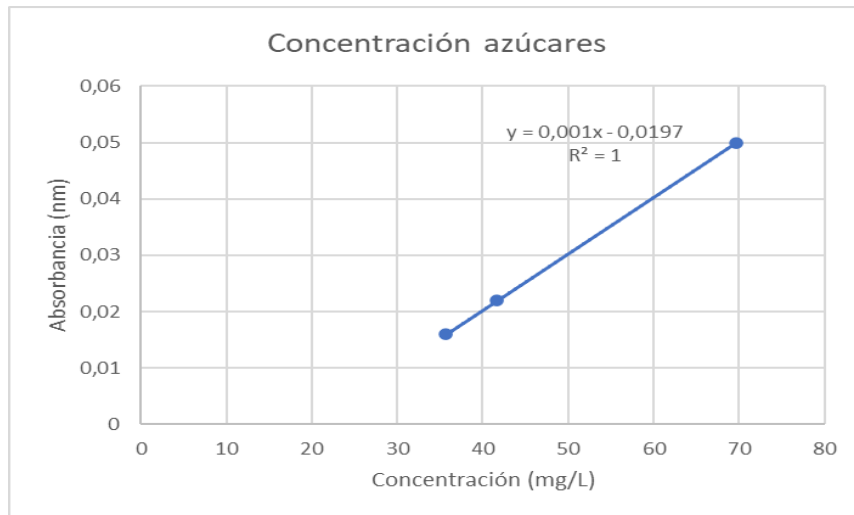
Concentración (mg/L)	Absorbancia (nm)
69,7	0,05

41,7	0,022
------	-------

35,7	0,016
------	-------

Figura

Concentración de azúcares en mg/L de los subproductos de café según la absorbancia de cada muestra



Anexo E. Cronograma de actividades

Objetivos	Actividades	Meses											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Implementar el sistema de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) para la obtención de humus a partir de los subproductos del beneficio húmedo del café.	Caracterización fisicoquímica de los subproductos del café.	█											
	Determinar el espacio idóneo para la realización del proyecto y medidas de las pilas.	█											
	Compra de materia prima necesaria para implementar el sistema de compostaje.	█											
	Pesaje y transporte de pulpa al lugar de simulación del laboratorio a escala piloto.	█											
Estabilizar los procesos fisicoquímicos y biológicos en los tratamientos para la obtención de humus.	Realizar el montaje de la pila de compostaje con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy) con las medidas adecuadas.	█											
	Establecer un sistema y horario de volteo de la pila	█											
	Toma de muestras para medición.	█											
	Medición de parámetros en laboratorio para determinar la estabilidad de los sistemas.	█											

<p>Analizar las diferencias en el contenido de nutrientes que presenta el humus obtenido en los tratamientos.</p>	<p>Análisis del nutriente fósforo en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy).</p>	
	<p>Análisis del nutriente nitrógeno en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy).</p>	
	<p>Análisis del nutriente potasio en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy).</p>	
	<p>Análisis del nutriente sodio en la obtención de humus con <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Mojojoy).</p>	
	<p>Análisis de diferencias significativas en las variaciones del sustrato del proceso de compostaje.</p>	