



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**CO-COMPOSTAJE DE RESIDUOS DEL CAFÉ PROVENIENTES  
DE LA PARROQUIA SINAÍ-MORONA SANTIAGO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**DENNIS EZEQUIEL BETANCOURT GARZON**

Macas – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**CO-COMPOSTAJE DE RESIDUOS DEL CAFÉ PROVENIENTES**  
**DE LA PARROQUIA SINAÍ-MORONA SANTIAGO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:** DENNIS EZEQUIEL BETANCOURT GARZON

**DIRECTOR:** Ing. WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA MSc.

Macas – Ecuador

2023

© 2023, Dennis Ezequiel Betancourt Garzon

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, DENNIS EZEQUIEL BETANCOURT GARZON, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 28 de febrero de 2023



**Dennis Ezequiel Betancourt Garzon**  
**1400860944**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **CO-COMPOSTAJE DE RESIDUOS DEL CAFÉ PROVENIENTES DE LA PARROQUIA SINAI-MORONA SANTIAGO**, realizado por el señor: **DENNIS EZEQUIEL BETANCOURT GARZON**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Jessica Paola Arcos Logroño MsC. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-02-28
Ing. William Estuardo Carrillo Barahona MsC. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-02-28
Ing. Miguel Angel Osorio Rivera Mgs. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2023-02-28

## **DEDICATORIA**

A mis padres Ezequiel y Mónica por educarme con buenos valores y principios que me ayudaron a cumplir mis objetivos, apoyándome incondicionalmente, brindándome sus consejos impartíendome sus valores y motivándome diariamente para hacer una buena persona y un gran profesional que aporte a este país, muchas gracias todo esto es por ustedes.

A Dios, a la virgen purísima de Macas y al Doctor José Gregorio Hernández por haberme colmado de salud, sabiduría, bondad para cumplir mis objetivos.

A mis hermanos Jair y Jason por apoyarme siempre para lograr cumplir mis objetivos, siendo ellos un pilar muy importante para mí por su cariño y amor, los quiero mucho.

Y a todos mis familiares y amigos que a lo largo de mi proceso educativo me brindaron la mano y me impartieron sus conocimientos para poder cumplir este sueño.

Dennis

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios y a la virgencita Purísima de macas por la vida y por la oportunidad de poder cumplir este sueño además de guiarme por el buen camino, a mis padres Ezequiel Betancourt y Mónica Garzón por un apoyo incondicional en todo momento, por darme sus consejos y valore, así como a la realización de este proyecto de investigación y por muchas otras cosas gracias.

Igual manera mis agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, por brindarme la oportunidad de prepararme académicamente adquiriendo nuevos conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera, en especial a los ingenieros de mi querida institución por la paciencia, consejos, tiempo y la calidez al momento de impartir con nosotros sus conocimientos.

Dennis

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi

### CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1.	Planteamiento del problema .....	2
1.2.	Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.3.	Problema general de investigación.....	3
1.4.	Problemas específicos de investigación.....	3
1.5.	Objetivos.....	3
1.5.1.	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.6.	Justificación.....	3
1.6.1.	<i>Justificación teórica</i> .....	3
1.6.2.	<i>Justificación metodológica</i> .....	4
1.6.3.	<i>Justificación práctica</i> .....	4
1.7.	Hipótesis .....	4

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.	Antecedentes de investigación .....	5
2.2.	Referencias teóricas.....	6
2.2.1.	<i>Sectores de producción de residuos orgánicos</i> .....	7

<b>2.2.2.</b>	<b>Los sistemas de compostaje</b> .....	7
2.2.2.1.	Sistema abierto .....	8
2.2.2.2.	Pila estática .....	8
2.2.2.3.	Compostaje en contenedores.....	8
2.2.2.4.	Sistemas cerrados.....	8
2.2.2.5.	Parámetros de control en el proceso de co-compostaje.....	9
2.2.2.6.	Factores que intervienen en el proceso de co-compostaje .....	10
2.2.2.7.	Materiales usados en el co-compostaje.....	11
2.2.2.8.	Ventajas ambientales del co-compostaje.....	11
2.2.2.9.	Co-compostaje criterios .....	12
<b>2.2.3.</b>	<b>Clasificación de los residuos orgánicos</b> .....	12
2.2.3.1.	Origen natural.....	12
2.2.3.2.	Origen urbano .....	12
<b>2.2.4.</b>	<b>Tipos de contaminantes según su explotación</b> .....	13
2.2.4.1.	Impacto ambiental en el recurso agua .....	13
2.2.4.2.	Impacto en la salud humana y animal.....	13
2.2.4.3.	Impacto ambiental en el suelo .....	13
2.2.4.4.	Tratamientos biológicos .....	13

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	14
<b>3.1.</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	14
<b>3.2.</b>	<b>Nivel de investigación</b> .....	14
<b>3.3.</b>	<b>Diseño de investigación</b> .....	14
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente no experimental, casi experimental, experimental</i> .....	14
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i> .....	15
<b>3.4.</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	15
<b>3.5.</b>	<b>Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	15

3.5.1.	<i>Área de estudio</i> .....	15
3.5.2.	<i>Población de estudio</i> .....	16
3.5.3.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	16
3.6.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	16
3.6.1.	<i>Método de muestreo</i> .....	16
3.6.2.	<i>Fuentes de información</i> .....	17
3.6.3.	<i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	17
3.6.4.	<i>Materiales y equipos usados en el desarrollo de los tratamientos</i> .....	17
3.6.5.	<i>Materiales de oficina</i> .....	18
3.6.6.	<i>Técnicas experimentales</i> .....	18
3.7.	<b>Recolección y transporte de los residuos orgánicos</b> .....	18
3.7.1.	<i>Montaje de pilas</i> .....	18
3.8.	<b>Caracterización fisicoquímica de los residuos de café</b> .....	19
3.8.1.	<i>Humedad</i> .....	20
3.8.1.1.	<i>Materiales</i> .....	20
3.8.1.2.	<i>Equipos</i> .....	20
3.8.1.3.	<i>Procedimiento</i> .....	21
3.8.2.	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	21
3.8.2.1.	<i>Materiales</i> .....	21
3.8.2.2.	<i>Equipos</i> .....	22
3.8.3.	<b>Materia orgánica</b> .....	22
3.8.3.1.	<i>Materiales</i> .....	22
3.8.3.2.	<i>Equipos</i> .....	23
3.8.4.	<i>pH</i> .....	24
3.8.4.1.	<i>Materiales</i> .....	24
3.8.4.2.	<i>Equipos</i> .....	24
3.8.5.	<i>Fósforo y potasio</i> .....	25
3.8.6.	<i>Control de los parámetros de pH, humedad y temperatura</i> .....	27
3.9.	<b>Análisis estadístico de los parámetros controlados</b> .....	27

3.9.1.	<i>Análisis estadístico</i> .....	27
3.9.2.	<b>Control del proceso</b> .....	27
3.10.	<b>Análisis químicos de los tratamientos</b> .....	28

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	29
4.1.	<b>Caracterización fisicoquímica de los residuos de café</b> .....	29
4.1.1.	<i>Humedad de los residuos</i> .....	29
4.1.2.	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	30
4.1.3.	<i>Materia orgánica</i> .....	31
4.1.4.	<i>pH</i> .....	32
4.1.5.	<i>Fósforo disponible</i> .....	33
4.1.6.	<i>Potasio asimilable</i> .....	34
4.2.	<b>Control de los parámetros de pH, humedad y temperatura</b> .....	34
4.2.1.	<i>Control de pH</i> .....	34
4.2.1.1.	<i>Tratamiento 1 proporciones 50/50</i> .....	36
4.2.1.2.	<i>Tratamiento 2 proporciones 60/40</i> .....	37
4.2.1.3.	<i>Tratamiento 3 proporciones 70/30</i> .....	38
4.2.2.	<i>Control de humedad</i> .....	38
4.2.2.1.	<i>Tratamiento 1 proporciones 50/50</i> .....	40
4.2.2.2.	<i>Tratamiento 2 proporciones 60/40</i> .....	41
4.2.2.3.	<i>Tratamiento 3 proporciones 70/30</i> .....	42
4.2.3.	<i>Control de temperatura</i> .....	43
4.2.3.1.	<i>Tratamiento 1 proporciones 50/50</i> .....	44
4.2.3.2.	<i>Tratamiento 2 proporciones 60/40</i> .....	45
4.2.3.3.	<i>Tratamiento 3 proporciones 70/30</i> .....	46
4.3.	<b>Análisis químicos de los tratamientos</b> .....	47
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	49

**RECOMENDACIONES..... 50**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Contenido nutricional de la pulpa del café en los principales elementos .....	6
<b>Tabla 2-3:</b> Materiales y equipos en el trabajo de campo.....	17
<b>Tabla 3-3:</b> Materiales de oficina usados para la toma de muestras.....	18
<b>Tabla 4-3:</b> Pesos y proporciones de los tratamientos .....	19
<b>Tabla 5-3:</b> Análisis fisicoquímico de residuos iniciales de pulpa de café y cascarilla.....	20
<b>Tabla 6-3:</b> Análisis químico de muestras del compost maduro .....	28
<b>Tabla 1-4:</b> Datos del pH controlado durante 16 semanas .....	34
<b>Tabla 2-4:</b> Datos del humedad controlado durante 16 semanas.....	38
<b>Tabla 3-4:</b> Datos de temperatura controlado durante 16 semanas .....	43
<b>Tabla 4-4:</b> Parámetros químicos evaluados a cada tratamiento .....	47

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Sectores de generación de residuos orgánicos .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Sistemas de compostaje .....	7
<b>Ilustración 3-2:</b>	Clasificación de los parámetros del control de compostaje .....	9
<b>Ilustración 1-3:</b>	Centro de acopio de café Tres Marías/Sinaí .....	16
<b>Ilustración 1-4:</b>	Porcentaje de humedad de los residuos de café .....	29
<b>Ilustración 2-4:</b>	Conductividad eléctrica de los residuos de café .....	30
<b>Ilustración 3-4:</b>	Porcentaje de materia orgánica presente en los residuos de café.....	31
<b>Ilustración 4-4:</b>	pH de los residuos de café .....	32
<b>Ilustración 5-4:</b>	Porcentaje de fósforo disponible en los residuos de café.....	33
<b>Ilustración 6-4:</b>	Porcentaje de potasio asimilable presente en los residuos de café.....	34
<b>Ilustración 7-4:</b>	Primer tratamiento control de pH .....	36
<b>Ilustración 8-4:</b>	Segundo tratamiento control de pH .....	37
<b>Ilustración 9-4:</b>	Tercer tratamiento control de pH.....	38
<b>Ilustración 10-4:</b>	Control de humedad primer tratamiento .....	40
<b>Ilustración 11-4:</b>	Control de humedad segundo tratamiento .....	41
<b>Ilustración 12-4:</b>	Control de humedad tercer tratamiento.....	42
<b>Ilustración 13-4:</b>	Primer tratamiento control de temperatura .....	44
<b>Ilustración 14-4:</b>	Segundo tratamiento control de temperatura .....	45
<b>Ilustración 15-4:</b>	Tercer tratamiento control de temperatura.....	46
<b>Ilustración 16-4:</b>	Relación carbono nitrógeno .....	47

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3:</b>	Ecuación para determinar el porcentaje de humedad .....	21
<b>Ecuación 2-3:</b>	Ecuación para determinar la materia orgánica.....	23
<b>Ecuación 3-3:</b>	Ecuación para determinar el potasio.....	26
<b>Ecuación 4-3:</b>	Ecuación para determinar el fósforo.....	26

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CAFÉ PROVENIENTE DE LA PARROQUIA SINAI
- ANEXO B:** RECOLECCIÓN Y TRITURADO DE RESIDUOS
- ANEXO C:** ARMADO DE PILAS
- ANEXO D:** DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS
- ANEXO E:** CONTROL Y TOMA DE DATOS
- ANEXO F:** VOLTEO Y CONTROL DE LA FASE DE MADURACIÓN
- ANEXO G:** ANÁLISIS EN EL LABORATORIO
- ANEXO H:** ANÁLISIS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS ESPOCH RIOBAMBA

## RESUMEN

La parroquia Sinaí no cuenta con una disposición final adecuada para los residuos de café los cuales son apilados en el centro de acopio, depositados directamente en suelos agrícolas o plantaciones de café, el objetivo de esta investigación fue desarrollar un co-compostaje para aprovechar estos sub productos, la metodología implementada fue de campo con enfoque mixto iniciando con la recolección de los residuos utilizando pilas windrow la cual se realizó con una tonelada entre residuos de café y estiércol armando tres tratamientos: el primero con una relación 50% residuos 50% estiércol vacuno, el segundo con una relación 60% residuos 40% estiércol vacuno y el tercero con una relación 70% residuos 30% estiércol vacuno las pilas fueron armadas con una capa de residuos de café seguido de una capa de estiércol hasta completar la tonelada entre los tratamientos, el tamaño de cada pila fue de 1m de ancho x 2m de largo. Mediante la caracterización físico-química se obtuvo que la humedad de la pulpa fue de 72% y cascarilla un 24%, la conductividad eléctrica fue de 3,69 dS/cm y 1,04 dS/cm, el porcentaje de materia orgánica fue de 78,76 % y un 65,25%, el pH fue de 4,13 y 4,73, el potasio asimilable de 2,04 % y 0,57 % , el fósforo disponible fue de 59,65ppm y 165,37ppm, en el análisis químico de los tratamientos la relación de carbono nitrógeno debe ser superior a 20/1 e inferior a 30/1, donde solo el tratamiento 1 cumplió con un valor de 26,30. El tratamiento 1 puede ser utilizado como compost por los caficultores de Sinaí, mientras que los dos tratamientos se pueden evaluar para estabilizarlos, se recomienda realizar el co-compostaje con microorganismos facultativos para obtenerlo en menos semanas.

**Palabras clave:** <CO-COMPOSTAJE >, <RESIDUOS DE CAFÉ>, < PILAS WINDROW>, <SINAÍ >, <MORONA SANTIAGO >, , < ESTIERCOL VACUNO>, < COMPOST >.

0484-DBRA-UPT-2023

A handwritten signature in blue ink is written over a circular stamp. The stamp contains the text 'UNIDAD DOCUMENTAL' and a central emblem. The signature is highly stylized and cursive.

## **ABSTRACT**

The “Parroquia Sinai” does not have an adequate final disposal for coffee residues which are piled up in the collection center and deposited directly on agricultural soils or coffee plantations. The objective of the current research work was to develop a co-composting to take advantage of these sub products; taking into account the implementation of field methodology with a mixed approach which started with the collection of waste by using windrow piles performed with a ton of coffee residues and manure assembling three treatments: The first with a ratio of 50% residues 50% cow manure, the second with a ratio of 60% residues 40% cow manure and the third with a ratio of 70% residues 30% cow manure. The piles were assembled with a layer of coffee residues followed by a layer of manure until completing the ton between treatments, and the size of each pile was 1m wide x 2m long. The physical-chemical characterization showed that the humidity of the pulp was 72% and husk 24%, the electrical conductivity was 3.69 dS/cm and 1.04 dS/cm, the percentage of organic matter was 78.76% and 65.25%, the pH was 4.13 and 4.73, assimilable potassium was 2.04 % and 0.57 %, available phosphorus was 59.65ppm and 165.37ppm in the chemical analysis of the treatments, the carbon-nitrogen ratio should be higher than 20/1 and lower than 30/1, where only treatment 1 complied with a value of 26.30. The treatment 1 can be used as compost by the coffee growers of Sinai, while the two treatments can be evaluated to stabilize them. Finally, it is recommended to carry out co-composting with facultative microorganisms to obtain it in fewer weeks.

**Keywords:** CO-COMPOSTING, COFFEE RESIDUES, WINDROW PILES, SINAI, MORONA SANTIAGO, COW MANURE, COMPOST.

  
**By:** Mauricio Martínez P  
0602902504

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha creado varios cambios en el ambiente con la finalidad de satisfacer las necesidades básicas, las cuales cada día se vuelven más exigentes, en su mayoría son generadas por la explotación de los recursos naturales, generación de residuos o daños severos al ambiente(Ruiz, 2019, pp.16-18).

La generación de residuos orgánicos en su mayoría es el resultante de la actividad humana: son depositados al aire libre, generan malos olores, proliferan vectores(cucarachas, moscas, ratas y zancudos), causan un impacto visual, y deterioran la flora y fauna que se encuentre a su alrededor(Lara y Velásquez, 2016, pp. 33-36).

Según el (Ministerio del Ambiente, 2021, p. 2) en el Ecuador se generan anualmente alrededor de 5.2 millones de toneladas de desechos, de los cuales el 44% corresponde a desechos inorgánicos y el 56% corresponde a residuos orgánicos. Santibañez et al., (2014, pp. 1027-1032) expresa que al no existir una apropiada disposición final se puede contaminar diferentes ecosistemas como el suelo o el agua, afectando directamente a la población y a largo plazo generar problemas de salud, pero se puede dar un manejo adecuado a estos residuos generando subproductos.

La producción del café genera residuos (pulpa de café, cascarilla) que pueden reaprovecharse convirtiéndose en un subproducto (compost) y ser devueltos al suelo, aportando nutrientes, mejorando la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico y contribuyendo a la rentabilidad de la producción.

El café arábigo es uno de los cafés más utilizados en el mundo por sus propiedades, catalogado como uno de los más producidos en América del sur, con una alta demanda en Estados Unidos y Europa, actualmente es cosechado en varias provincias del Ecuador incluyendo Morona Santiago(Jiménez y Massa, 2016, pp. 118-119).

En la Parroquia Sinaí los residuos no tienen una disposición final son arrojados directamente en terrenos o sobre las plantas de café, este proyecto busca aprovechar estos residuos mediante un co-compostaje, que será utilizado por los productores de esta zona ayudando mejorar las características del suelo, incrementar su producción y tener menor incidencia en el uso de abonos sintéticos.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Los residuos de café en la parroquia Sinaí, ubicada en la provincia de Morona Santiago, tiene un inadecuado manejo para el despulpe y trillado. Estos son apilados en el centro de acopio, arrojados directamente en suelos agrícolas o plantaciones de café, disponerlos de esta manera puede generar una alteración al suelo y efluentes cercanos al tratarse de una materia orgánica no estabilizada.

La pulpa de café tiene un alto contenido nutricional por lo que dejarla a la intemperie o sobre el suelo se convierte en una fuente directa de vectores como moscas, mosquitos y cucarachas, un problema latente que generan estos vectores es la propagación de enfermedades a los pobladores.

La cascarilla producto del trillado es acumulada e incinerada en el centro de acopio, produciendo contaminación ambiental, puede ser aprovechada para desarrollar un co-compostaje, convirtiéndose en un sustrato óptimo para el uso agrícola además de ser una solución amigable con el medio ambiente, de bajo costo, fácil utilización y considerada como una alternativa segura y sostenible que permitirá aprovechar estos subproductos dándoles un valor agregado como compost.

#### **1.2. Limitaciones y delimitaciones**

En el presente trabajo de investigación, se ha visto que la falta de coordinación y presupuesto en la Junta parroquial de Sinaí ocasiona que no se desarrolle un correcto manejo y aprovechamiento a estos residuos, una de las alternativas ampliamente aceptadas es el desarrollo de un co-compostaje, las condiciones climáticas también representaron un limitante.

Los residuos generados durante la última semana de mayo y principios de abril conformaron una muestra de una tonelada para desarrollar el co-compostaje, utilizando la pulpa del café, la cascarilla, y el estiércol se desarrolló 3 tratamientos con porcentajes diferentes de residuos y estiércol en proporciones 50/50, 60/40 y 70/30 en un espacio de 7m de largo por 5m de ancho en la parroquia Sinaí, sector Tres Marías donde existe un centro de acopio de café.

### **1.3. Problema general de investigación**

Qué tratamiento de co-compostaje permitirá un mejor aprovechamiento de los residuos de café en la parroquia Sinaí.

### **1.4. Problemas específicos de investigación**

Cómo establecer el co-compostaje de los residuos de café en la parroquia Sinaí relacionándolos en una caracterización fisicoquímica.

Cuál es la relación C/N más efectiva entre los 3 tratamientos.

Puede convertirse en una solución viable, la generación de co-compostaje logrando así el aprovechamiento de estos residuos.

### **1.5. Objetivos**

#### ***1.5.1. Objetivo general***

Elaborar co-compostaje con los residuos del café provenientes de la parroquia de Sinaí-Morona Santiago.

#### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Realizar la caracterización física y química de los residuos del café.
- Medir los parámetros de humedad, temperatura y pH durante el proceso del co-compostaje.
- Determinar que tratamiento es más eficaz para realizar co-compostaje.

### **1.6. Justificación**

#### ***1.6.1. Justificación teórica***

El café arábigo es cosechado en la parroquia de Sinaí, esta especie se encuentra dominante en la producción a comparación del café robusta y otros, puesto que contiene propiedades aromáticas, es más equilibrado y resalta una acidez agradable, la parroquia de Sinaí cuenta con las condiciones óptimas para que esta especie se desarrolle, contando con un clima cálido-húmedo que influye mucho en su calidad (INSIGMA, 2015, pp. 4-9).

La parroquia Sinaí también cuenta con una asociación agropecuaria y caficultora llamada “Valle del Sangay”, se desarrolló un proyecto de reactivación productora con café y cacao, la misma cuenta con 24 socios establecidos y 34 hectáreas de café, la producción aproximadamente es de un 60% y su pico de producción alta se establece en los meses de mayo a junio donde se recolecta alrededor de 4t de café arábigo, de esa cantidad de café no existe una correcta gestión de residuos y expansión del proyecto, con el tiempo puede convertirse en un problema ambiental afectado la calidad del suelo y el agua(Alcaldía de Morona, 2012, p. 21).

### ***1.6.2. Justificación metodológica***

El co-compostaje es una técnica de bajo costo, amigable con el medio ambiente y que se puede utilizar fácilmente, constituyéndose como una alternativa segura/sostenible permitiéndonos utilizar residuos que contienen un alto porcentaje de materia orgánica para generar así un valor agregado, utilizando la tecnología de pilas windrow para su desarrollo (Muñoz et al., 2014, p. 4), el abono orgánico puede ser utilizado por los agricultores en la parroquia Sinaí como una alternativa a los fertilizantes sintéticos, teniendo en cuenta que los residuos generados por esta actividad tendrán una disposición final adecuada convirtiéndose en un recurso sostenible aprovechable.

La implementación de esta técnica ayudará a disminuir la contaminación donde estos residuos son arrojados directamente sobre el suelo o sus propios cultivos, al elaborar un compost con alto contenido de materia orgánica se convierte en una alternativa amigable con el medio ambiente tratándose de un material completamente inocuo y con componentes que ayudarán a mejorar las características físicas químicas y biológicas del suelo.

### ***1.6.3. Justificación práctica***

En esta investigación se busca aprovechar los residuos generados en la cosecha de café utilizando un sistema de pilas windrow, el cual nos brindará múltiples beneficios ya que el costo de mantención no es muy alto y los agricultores de la parroquia Sinaí serían los beneficiados.

## **1.7. Hipótesis**

¿Es posible realizar co-compostaje con los residuos de café?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

El compost es un abono orgánico obtenido de la descomposición controlada de materia orgánica provocada por la ingesta de alimentos de diferentes organismos que se hallan en el suelo, el proceso de compostaje se genera a temperaturas entre 50 a 70°C (Vásquez, Padra y Mondragon, 2010, p. 215). Una vez que los organismos del suelo se van alimentando, la pila de materia orgánica eleva su temperatura hasta conseguir los 60 y 70°C. A lo largo de todo el proceso, se necesita que haya oxígeno y humedad, factores necesarios para que logren vivir los organismos que se necesitan en la descomposición. Al realizarlo se obtiene un abono rico en nutrientes, generando así una restauración de la materia orgánica presente en el suelo, evitando los procesos de erosión y a su vez dando la posibilidad de optar por nuevos cultivos sin alterar la composición del suelo (Chasquero, 2019, pp. 18-21).

García, (2021, pp. 6-10) expresa que el beneficio de utilizar este tipo de co-compostaje ayuda a optimizar la producción y fertilización de suelos con diferentes tipos de microorganismos convirtiéndose en un abono homogéneo en el que las plantas pueden absorber con facilidad los nutrientes.

Pierre et al., (2009, pp. 3-5) menciona que los residuos de café tienen un alto potencial de contaminación en los suelos y aguas al no tratarse. Valencia y Imbacuan, (2021, pp. 40-49) realizó el co-compostaje en base a la zona productora de Caspito-Venezuela en un diseño aleatorio con 3 tratamientos y cuatro repeticiones utilizando un solo tipo de estiércol en concentraciones de residuos diferente, siendo favorable el compost mediante la evaluación de los parámetros como materia orgánica, conductividad eléctrica, macroelementos y ácidos húmicos.

El compostaje del café según (Rivas y Silva, 2020, p. 23) es una técnica viable en la degradación y aprovechamiento de todos los residuos, utilizando sus características físicas y químicas obteniendo así buenos resultados en su compost, determinados estos por la porosidad total, la capacidad de retención de agua, el nitrógeno total, el carbono orgánico, la relación carbono nitrógeno con los macro y micronutrientes.

## 2.2. Referencias teóricas

La producción de café genera residuos desde la siembra, cosecha y el procesamiento: el principal remanente generado al momento de la cosecha es la producción de pulpa la cual corresponde al 40% del peso total del fruto, en el secado se genera la cascarilla que mediante el calor se separa del grano del café (Valencia y Imbacuan, 2021, pp. 18-21).

La realización del co-compostaje ayuda en ciertos aspectos como: aprovechar y reutilizar los residuos producidos, la reducción del uso de fertilizantes especialmente sintéticos que con el tiempo pueden llegar a ser nocivos para los seres vivos y el medio ambiente, aportando directamente en el mejoramiento del suelo con un incremento de nutrientes, propiedades físicas, químicas y biológicas, todos estos beneficios permiten que la producción agrícola de los cultivos se maximice y crezcan sanos con una resistencia a patógenos (Olmedo y Jimenez, 2016, pp. 44-46).

El co-compostaje facilita a que todos los residuos orgánicos generados en la producción y cosecha del café se desintegren en medios aeróbicos y puedan ser utilizados para regenerar la composición del suelo aportando de manera sustanciosa directamente al medio.

**Tabla 1-2** Contenido nutricional de la pulpa del café en los principales elementos

<b>Elemento</b>	<b>Rango de concentración</b>
<b>Nitrógeno</b>	1,6-3 %
<b>Fósforo</b>	0.17-0.19 %
<b>Potasio</b>	2.60-3.37 %
<b>Calcio</b>	1.2-2.1 %
<b>Manganeso</b>	72.80-1124 ppm
<b>Zinc</b>	32.20-40.50 ppm
<b>Cobre</b>	23.00 ppm
<b>Relación C/N</b>	16 a 20 ppm

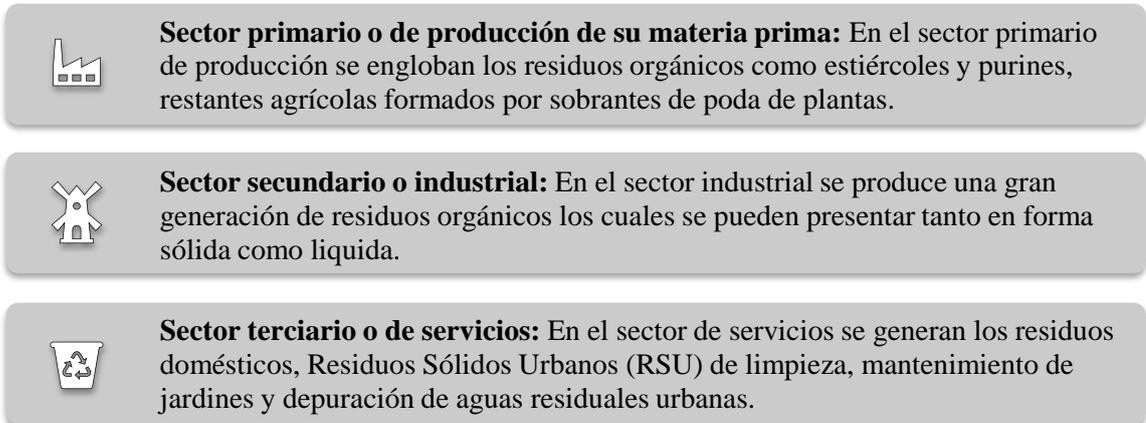
**Fuente:** (Franco, 2018, pp. 21-23)

**Elaborado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

El proceso de degradación obtiene un producto de calidad a través de la materia orgánica, el abono será rico en nutrientes, pero para ello se debe estudiar todas las etapas que se realizan este proceso y los microorganismos que están presentes en la degradación, según Valverde et al., (2018, pp. 134-136) los sustratos que son usados en el co-compostaje son provenientes de residuos fecales de animales o remanentes de agricultura, debe existir un equilibrio entre los componentes como el

carbono y nitrógeno, ya que nos ayudan a determinar el crecimiento, desarrollo y subsistencia de los microorganismos que intervienen en el proceso.

### 2.2.1. Sectores de producción de residuos orgánicos

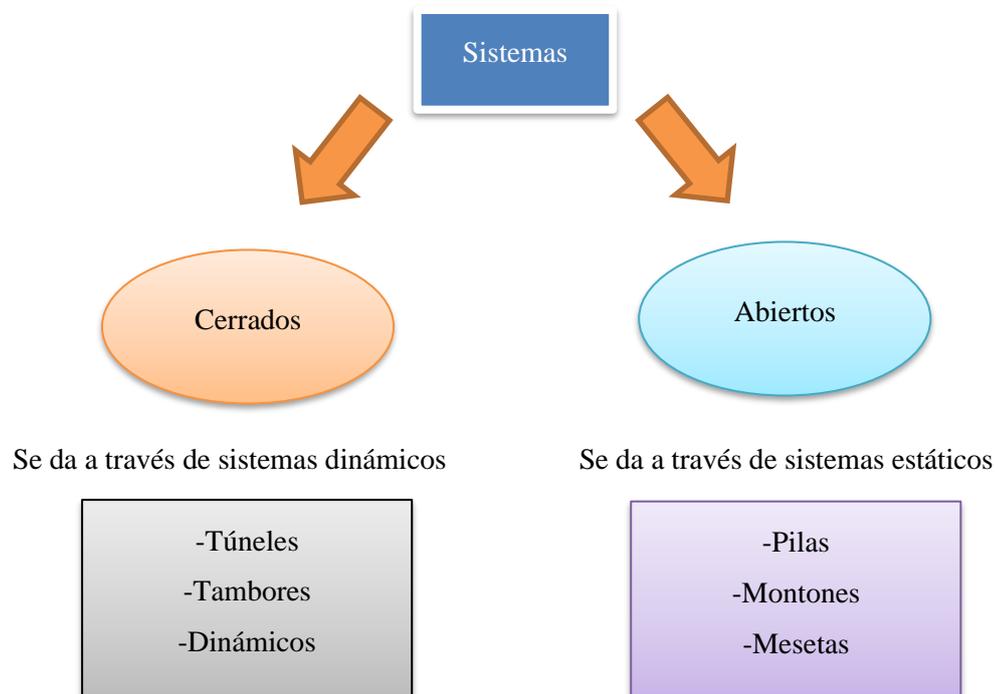


**Ilustración 1-2:** Sectores de generación de residuos orgánicos

**Fuente:** (Jaramillo y Zapata, 2008, pp. 18-24 )

**Elaborado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

### 2.2.2. Los sistemas de compostaje



**Ilustración 2-2:** Sistemas de compostaje

**Fuente:** (Jaramillo y Zapata, 2008, pp. 20-24)

**Elaborado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

#### *2.2.2.1. Sistema abierto*

Al mantener elementos al aire libre se considera un sistema abierto, se colocan pilas de 1.5m a 2m de alto y largo, debe existir espacio donde se va a armar la pila, al momento de realizar el volteo se necesita alrededor de 1 m extra(Hernández et al., 2010, pp. 24-29).

Al realizar el volteo lo que se busca es homogenizar los componentes de la pila lo cual ayudará a que el desarrollo de los microorganismos aerobios degrade la materia orgánica en menor tiempo, también se debe controlar la humedad ya que es un factor clave y controlar la temperatura que no sobrepase de los 65 °C.

#### *2.2.2.2. Pila estática*

Los elementos que se compostarán se recolectan y forman una pila sencilla que puede estar colocada en una superficie lisa o en el suelo, este tipo de pilas son económicas y sencillas al armarlas no necesitan moverse del sitio, para que esta pila adquiera oxígeno se realiza un proceso de succión o insuflado(Reiser y Ruiz, 2018, pp. 12-14).

#### *2.2.2.3. Compostaje en contenedores*

El uso de recipientes plásticos de distintos tamaños abarcan una cantidad de volumen que pueden ser utilizados para realizar el proceso de co-compostaje almacenando todos estos residuos, una característica primordial de desarrollarla en contenedores es que el tiempo de compostaje es menor que al desarrollarlo en una pila, también dependerá de las condiciones ambientales y cómo se degrada la materia orgánica, en una pila se demora alrededor de 9, 10 semanas dentro de un contenedor puede desarrollarse de 6 a 8 semanas(Torres, 2015, p.16).

El uso de esta técnica tiene varios beneficios y ventajas no solo en el tiempo, y es que esta técnica puede ser reaplicada, protege al material de estar expuesto a condiciones ambientales como la lluvia o el viento, facilita las labores de volteo. Al estar dentro de un contenedor de plástico evita que se acumule lluvia por lo tanto al extraer el lixiviado es más fácil, un punto a favor que se desarrolla mediante esta técnica es que el control de vectores es muy fácil.

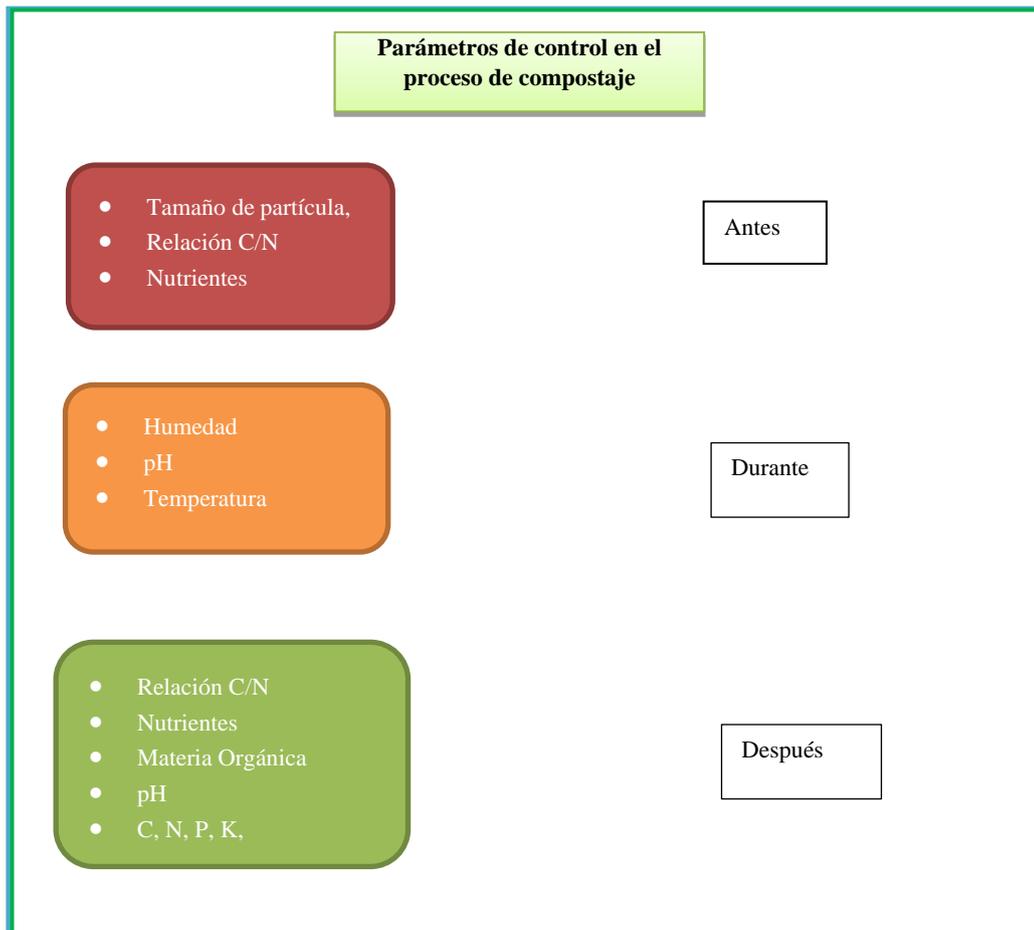
#### *2.2.2.4. Sistemas cerrados*

Gordon, (2019, p. 26) menciona que al desarrollarse el compostaje en un sistema cerrado los materiales no entran en contacto directo con el exterior sino a través de un sistema controlado de ductos y turbinas, una ventaja de desarrollarla en un sistema cerrado es que se puede mantener un control más exacto del proceso, pero al desarrollarlo de esta manera los costos de inversión y

mantenimiento son elevados, un sistema cerrado en comparación a un sistema abierto genera mejores resultados y un mejor compost, un sistema cerrado puede ser de tipo horizontal o vertical.

#### 2.2.2.5. Parámetros de control en el proceso de co-compostaje

Al desarrollar el proceso del co-compostaje es muy importante controlar los parámetros de la humedad, pH, temperatura, y la relación carbono nitrógeno.



**Ilustración 3-2:** Clasificación de los parámetros del control de compostaje.

**Fuente:** (Auquilla, 2019, p. 16)

**Elaborado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

- Primera fase (Mesófila): los microorganismos se adaptan en el medio de degradación de la materia orgánica, oscila en una temperatura entre 10 y 50 °C durando alrededor de una o dos semanas, en esta etapa se libera CO<sub>2</sub> y el pH sufre una disminución producida por la generación de ácidos orgánicos, los valores oscilan entre 4 y 6, en este proceso se degradan mayormente las

sustancias carbonadas las cuales son digeridas por los microorganismos fácilmente(Gómez, 2010, p. 131).

- Segunda fase (Termófila): Al degradarse las sustancias carbonatadas se produce la fermentación que puede alcanzar ambientes de 50 a 70 °C, en este proceso se produce la pasteurización del compostaje eliminando los microorganismos patógenos y la germinación es imposible, el pH alcanza valores superiores a 8 convirtiéndose en un ambiente alcalino, en esta fase se libera metano y existe una gran demanda de oxígeno, tiene una duración entre una y ocho semanas según el ritmo de fermentación(Zurcan, 2012, p. 3).

- Tercera fase (Enfriamiento): Al llegar al punto de transformación de la mayoría de la cantidad orgánica la temperatura comienza a descender, en esta etapa los microorganismos mesófilos degradan la celulosa y lignina restantes dando como resultado a las sustancias húmicas, al finalizar este proceso la actividad metabólica y la demanda de oxígeno se reduce, estabilizándose el pH(Mejía y Ramos, 2019, p. 14).

- Cuarta fase (Maduración): Requiere de un par de semanas, la temperatura reducirá a valores muy cercanos del medio y el pH terminará de estabilizarse llegando a valores neutros, se estima que el compostaje esté listo entre 3 y 6 meses(Zurcan, 2012, p. 4).

#### *2.2.2.6. Factores que intervienen en el proceso de co-compostaje*

Para realizar el co-compostaje se debe tener en cuenta varios parámetros los cuales nos pueden ayudar a mejorar el proceso donde intervendrán los microorganismos:

**Humedad:** Según (Bueno, Diaz y Cabrera, 2017, p. 3) la humedad es uno de los factores más importantes que debe cumplir el proceso de co-compostaje este nos ayudará a mejorar el proceso biológico, la humedad debe estar controlada para que no ocupe toda la cantidad de los poros, circule oxígeno y otros gases producto de la degradación.

**Potencial de Hidrogeno (pH):** Permitirá evaluar el progreso que tiene el compost, en la primera fase(Mesófila) se produce la liberación de ácidos, en la segunda fase se produce la alcalinización del medio, en la tercera y cuarta fase se neutraliza debido a la formación de compuestos húmicos(Bueno, Diaz y Cabrera, 2017, p. 3).

**Temperatura:** Los microorganismos deben mantenerse en un ambiente óptimo, este parámetro es uno de los más importantes ya que los microorganismos al degradar la materia orgánica aumentan la temperatura del medio y de acuerdo al valor se evalúa el proceso de descomposición de la materia orgánica(Bueno, Diaz y Cabrera, 2017, p. 4).

Oxígeno: Se deben tener un ambiente controlado donde cuente con un correcto sistema de oxigenación, la falta de oxígeno provocaría un retraso en el compostaje o la muerte de los microorganismos(Bueno, Diaz y Cabrera, 2017, pp. 4-5).

El co-compostaje se divide en cuatro etapas en las cuales la temperatura y el pH son claves y nos indican el cambio de cada una de ellas, además existen varios tipos de microorganismos en su mayoría se encargan de degradar la celulosa, hemicelulosa, pectinas y demás componentes de la estructura vegetal(Ministerio de Ambiente y Agua, 2020, pp. 28-32).

#### *2.2.2.7. Materiales usados en el co-compostaje*

Pulpa del café: Es el material fibroso que se encuentra al interior del grano en estado húmedo teniendo un peso promedio del 40% de la cereza del café, contiene una alta cantidad de sacarosa y es un gran antioxidante(Bohórquez, 2020, p.26).

Cascarilla: También conocido como pergamino de café es la parte que envuelve al grano después de su capa húmeda, tiene en promedio el 12% del peso del grano de café, se obtiene después de un proceso de secado(Bohórquez, 2020, p.26).

Estiércol: Es el excremento de los animales mayormente utilizado para fertilizar el suelo, en su mayoría está compuesto por desechos orgánicos, así mismo es un elemento clave para realizar el co-compostaje(Bohórquez, 2020, p.22).

El carbón: Es de gran importancia al absorber la humedad dentro de la pila donde se está realizando el compostaje, además de ello tiene la propiedad que ayuda a oxigenar la composta(Rivas y Silva, 2020, pp. 18-24).

Levadura: La fermentación del compostaje es clave para que se desarrolle un ambiente óptimo y que actúen los microorganismos, dándonos como resultado un abono de muy buena calidad, la levadura ayuda a que todo ese proceso se desarrolle de una manera más efectiva interviniendo directamente en la alimentación de los microorganismos(Bohórquez, 2020, p.27).

#### *2.2.2.8. Ventajas ambientales del co-compostaje*

Según Arenas, (2017, pp. 28-31) el compost tiene grandes beneficios como:

-Ayuda a mejorar la calidad del aire, debido a que la materia orgánica no es desechada en un lugar que genera emisiones de CO<sub>2</sub> y metano, sino que se le almacena y se le da un tratamiento realizando el compostaje aprovechando todas sus propiedades.

-Reduce en gran cantidad los residuos de los vertederos, al desechar la materia orgánica muchos de estos residuos van a parar a vertedero contaminando así el agua.

-Ayuda a mejorar la continuidad del ciclo de vida, al realizar el co-compostaje se aprovecha todos estos nutrientes contribuyendo a que las plantas tengan una mayor producción, en un futuro será consumido por los animales completando así su ciclo de vida.

#### *2.2.2.9. Co-compostaje criterios*

Según Oviedo, Marmolejo y Torres, (2012, p. 69):

-Las plantas tendrán un mayor aprovechamiento sobre los nutrientes ya que no desarrollarán el proceso de degradación, sino solo asimilarán los nutrientes obtenidos a partir del abono.

-Al colocar directamente los residuos del café sobre las plantas, puede convertirse en una fuente fija de patógenos afectando a la producción y dañando la planta.

-Se obtiene un material orgánico estable, y podrá aprovechar la planta incrementando su producción mejorando las características fisicoquímicas del suelo.

#### **2.2.3. Clasificación de los residuos orgánicos**

Según Baquero, (2019, pp. 36-39), los residuos sólidos orgánicos se clasifican de acuerdo a su origen y naturaleza en:

##### *2.2.3.1. Origen natural:*

Naturaleza Vegetal: Cultivos verdes, pajas, residuos de cosechas turba, algas, aserrín cenizas.

Natural Animal: Estiércol, purín, humus de lombriz, deyecciones de aves: Guano, gallinaza, palomina, residuos de mataderos y pescaderías.

##### *2.2.3.2. Origen urbano:*

Basuras urbanas (RSU), lodos de aguas residuales, residuos orgánicos

#### ***2.2.4. Tipos de contaminantes según su explotación***

##### *2.2.4.1. Impacto ambiental en el recurso agua*

El manejo inadecuado de los residuos orgánicos va a parar en un botadero, con las lluvias se genera un arrastre de materia orgánica e infiltración por el suelo contaminando el agua subterránea y superficial(Llenque et al., 2020, p. 20).

##### *2.2.4.2. Impacto en la salud humana y animal*

La mala residuos orgánicos puede generar un alto impacto en la salud humana y animal al momento de consumir productos contaminados con patógenos o beber agua en mal estado(Llenque et al., 2020, p. 21).

##### *2.2.4.3. Impacto ambiental en el suelo*

Los residuos orgánicos frescos aplicados directamente a los suelos ocasiona la disminución de la capacidad de drenaje, dificulta la mineralización del nitrógeno, además presenta variaciones en el pH y aumenta la salinidad del suelo(Llenque et al., 2020, p. 22).

##### *2.2.4.4. Tratamientos biológicos*

Para evitar que los residuos estén expuestos y sean incinerados o se dispongan en vertederos, se debe someter a tratamientos sustentables como la recuperación y el reciclaje. Cuando los residuos han pasado por un tratamiento biológico ya no supone un peligro para el medio ambiente(Gamarra et al., 2018, p. 8). Además, se favorece la reducción de su volumen, la estabilización de materia orgánica, la disposición de nutrientes para las plantas y la ausencia de microorganismos patógenos(Moreno, 2008, pp. 13-17).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

El presente estudio llevó el diseño metodológico de enfoque mixto. Por una parte cualitativa en el proceso de elaboración del co-compostaje donde se analizó los factores físico-químicos tanto de los residuos iniciales (pulpa de café y cascarilla) como de cada tratamiento, y un enfoque cuantitativo se realizó la medición de los parámetros de pH, humedad y temperatura del compostaje para describir cómo se desarrolló y cuáles fueron los resultados de los tratamientos realizados, la investigación inició en la fase de recolección hasta el análisis en el laboratorio.

#### 3.2. Nivel de investigación

Se llevó a cabo una investigación explicativa para analizar el proceso de elaboración del compost y evaluar los parámetros establecidos. Asimismo, se utilizó una metodología descriptiva para socializar todos los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas en el proceso cuantitativo.

#### 3.3. Diseño de investigación

##### *3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente no experimental, casi experimental, experimental*

Este proyecto es experimental en el que se identifican las variables dependientes e independientes: en la variable independiente se elaboró el compost y se detalló el procedimiento con el cual se realiza y en la variable dependiente analizamos las características que nos ayudó a determinar si es viable o no el proyecto: la relación carbono/nitrógeno, la temperatura, el pH y la humedad.

❖ Variable independiente

- Co-compostaje con 3 tratamientos diferentes

❖ Variable dependiente

-Temperatura

- pH

- Humedad

-Relación carbono/nitrógeno

### **3.3.2. *Según las intervenciones en el trabajo de campo***

El trabajo de campo realizado fue de carácter transversal y se recopiló información en las cuatro fases del compostaje durante un período de 120 días. Se midieron las variables de pH, humedad y temperatura, lo que permitió identificar en qué fase se encontraba el co-compostaje.

### **3.4. Tipo de estudio**

La investigación se dividió en tres tipos: bibliográfica, documental y de campo. La investigación bibliográfica se llevó a cabo mediante la lectura y comprensión de guías, libros, sitios web, estudios y artículos anteriores relacionados con este tipo de investigación.

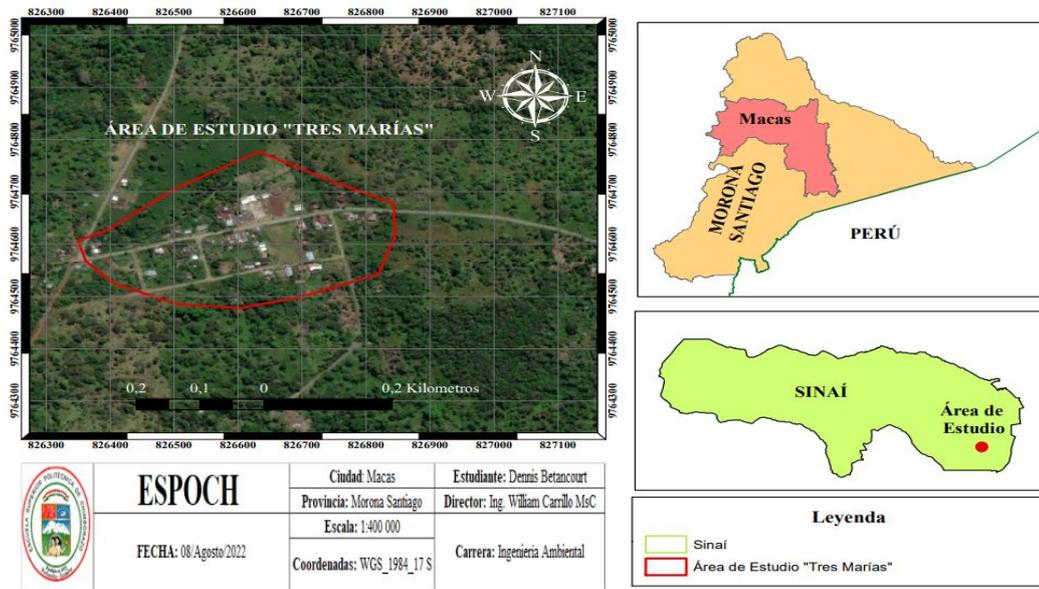
En el estudio de campo se realizó la recolección de residuos y se elaboró compost siguiendo el proceso adecuado para los tres tratamientos. Luego, se realizaron análisis en el laboratorio con muestras llevadas desde el campo para determinar las características del compost obtenido en cada tratamiento.

### **3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

#### **3.5.1. *Área de estudio***

El proyecto se llevó a cabo en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, parroquia Sinaí en el centro de acopio de café Tres Marías. para la delimitación del área de estudio se hizo uso del software ArcMap versión 1.8

**ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO CO-COMPOSTAJE DE RESIDUOS DE CAFÉ  
PROVENIENTES DE LA PARROQUIA SINAI**



**Ilustración 1-3:** Centro de acopio de café Tres Marías/Sinai.

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022.

### 3.5.2. Población de estudio

La parroquia La parroquia Sinai posee alrededor de 26 hectáreas de cultivo de café en expansión, de las cuales el 60% ya se encuentra en producción. El proceso de producción de café comienza con la cosecha, durante la cual se recolecta el café en sacos y se dirige al centro de acopio de la zona. Allí, se lleva a cabo el proceso de despulpado del café, obteniendo como primer residuo la pulpa. Posteriormente, se procede con el secado y trillado del café, obteniendo como residuo la cascarilla, los granos de café son llevados a una empaquetadora. Finalmente, se obtiene el café Valle del Sangay (Alcaldía de Morona, 2012, p.6).

### 3.5.3. Tamaño de la muestra

El tamaño muestral para la elaboración de compost corresponde a 1 tonelada entre pulpa de café, cascarilla y estiércol vacuno.

## 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

### 3.6.1. Método de muestreo

El método de muestreo es aleatorio simple.

### 3.6.2. Fuentes de información

Se llevó a cabo una socialización con las personas que viven en el sector y con el presidente de la asociación de caficultores mediante encuestas que permitieron evidenciar la situación del centro de acopio y el manejo que se le da a los residuos.

### 3.6.3. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó lo siguiente:

- Toma y caracterización inicial de los residuos orgánicos: pulpa de café y cascarilla.
- Registro y tabulación de los parámetros humedad, temperatura y pH de los tres tratamientos en los procesos iniciales, intermedias y finales del compostaje.
- Toma y caracterización del compost maduro obtenido al final del proceso.

### 3.6.4. Materiales y equipos usados en el desarrollo de los tratamientos

**Tabla 2-3:** Materiales y equipos en el trabajo de campo

<b>Materiales</b>	<b>Instrumentos o equipos</b>
Mandil	Termómetro
Guantes	pH metro
Mascarilla	Picadora
Botas	
Pala	
Escoba	
Rastrillo	
Carretilla	
Fundas Ziploc	

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

### 3.6.5. *Materiales de oficina*

**Tabla 3-3:** Materiales de oficina usados

Materiales de oficina
Marcadores
Etiquetas
Tijeras

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

### 3.6.6. *Técnicas experimentales*

- Toma de muestra de los parámetros dos veces por semana.
- Medición de los parámetros (humedad, temperatura y pH) durante el proceso de compostaje.

## 3.7. **Recolección y transporte de los residuos orgánicos**

Desde la segunda semana de marzo, la producción de café llega al centro de acopio y los residuos (pulpa de café y cascarilla) se apilan allí para su posterior recolección por lo que se decidió seleccionar la primera semana de abril debido a la disponibilidad de residuos, además se recolectó estiércol vacuno. Todos estos residuos fueron trasladados a un espacio bajo techo gestionado por el señor José Arévalo presidente del centro de acopio Tres Marías.

### 3.7.1. *Montaje de pilas*

- Se procedió a triturar los residuos de café dos veces.
- Para el armado de las pilas, se utilizó la metodología de las pilas windrow (Muñoz et al., 2014, p.3) y se realizó en un ambiente bajo techo para proteger los tratamientos de las lluvias. Primero se colocó una capa de residuos de café, seguida de una capa de estiércol hasta completar los pesos de los tratamientos, con una relación (residuos/estiércol) de 50/50, 60/40 y 70/30, respectivamente. Se utilizó palas para obtener una mezcla homogénea en un espacio de 7 m por 5 m, donde se llevó a cabo el proyecto. El tamaño de cada pila fue de 1 metro de ancho por 2 metros de largo.

Los pesos de los tres tratamientos recolectados fueron:

**Tabla 4-3:** Pesos y proporciones de los tratamientos

Tratamientos	Residuos (Kg)	Estiércol (Kg)
Pila 1 50/50	166,665	166,665
Pila2 60/40	199,99	133,34
Pila 3 70/30	233,34	100
Total	599,995	400,005
Total, E y R	1000	Kg

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022.

- Se procedió a tomar los datos de pH, temperatura y humedad iniciales.
- Una vez armadas las pilas, el proceso se controló bajo cubierta donde se trabajó con un sistema de compostaje in situ abierto.
- El control de la pH, temperatura y humedad fue dos veces a la semana.
- Las pilas se regaron en forma homogénea con un aspersor, garantizando una humedad óptima.

### **3.8. Caracterización fisicoquímica de los residuos de café**

La caracterización de los residuos a compostar se realizó mediante el método de cuarteo con el fin de lograr una muestra representativa, para esto se homogenizó y se tomó raciones en áreas diferentes 1kg de cada residuo.

**Tabla 5-3:** Análisis fisicoquímico de residuos iniciales de pulpa de café y cascarilla.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
Parámetro	Unidad	Método
Humedad	%	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica	dS/m	EPA 9045 D
Materia Orgánica	%	NEN 5754.2005
pH	UpH	Potenciométrico
Potasio K2O (%)	%	Método por espectrofotometría
Fósforo P2O 5	mg/kg	Método por espectrofotometría

**Fuente:** (Arango et al., 2016, pp. 345-350)

**Realizado por:** Betancourt Dennis, 2022

### 3.8.1. *Humedad*

Para desarrollar la caracterización de la pulpa de café y la cascarilla, en el parámetro humedad se tomó 1 kg de cada muestra.

#### 3.8.1.1. *Materiales*

- Bandejas de aluminio
- Mandil
- Guantes de látex
- Fundas ziploc
- Mascarilla
- Toallas de papel

#### 3.8.1.2. *Equipos*

- Balanza
- Estufa

### 3.8.1.3. Procedimiento

Se pesó las bandejas de aluminio antes y después de colocar las muestras. Se utilizó una bandeja para cada tipo de residuo (pulpa PC y cascarilla CC) y se identificó correctamente. Las bandejas se colocaron en una estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas. Posteriormente, se retiraron de la estufa y se pesaron nuevamente para determinar el porcentaje de humedad utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de la humedad

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

**Ecuación 1-3:** Ecuación para determinar el porcentaje de humedad

Dónde:

%H = porcentaje de humedad

P<sub>i</sub> = Peso inicial

P<sub>f</sub> = Peso final

Ejemplo:

Cálculo de humedad de los Residuos de café

$$\%H = \frac{1000 - 600}{1000} * 100$$

%H= 99,94%

De igual manera se calculó la otra muestra

### 3.8.2. Conductividad eléctrica

Una vez que las muestras están secas tanto la pulpa como la cascarilla se procede a triturar en el molino con un tamaño de partícula 2.5 µm, una cantidad de 250 g

#### 3.8.2.1. Materiales

- Mandil
- Guantes de látex

- Tubos de agitación plásticos
- Mascarilla
- Agua destilada
- Vasos de precipitación
- Papel filtro

#### 3.8.2.2. *Equipos*

- Balanza
  - Shaker de 500 rpm
  - Agua destilada
  - Agua destilada
- En tubos de agitación realizar una proporción 1 a 10 con agua destilada; ejemplo si se agrega 2g de los residuos triturados se debe agregar 20 ml de agua destilada
  - Pesar 3 g de los residuos triturados y agregar 30 ml de agua destilada e identificarlos
  - Agregar los tubos al shaker horizontalmente por 30 minutos a 350 RPM
  - Sacar los tubos de sacar y dejar reposar verticalmente para que se sedimenten
  - En un vaso de precipitación de 50 ml, Realizar un cono con el papel filtro agregar la solución y dejar filtrar toda la noche.
  - Con el uso del conductímetro tomaremos datos tiene que estar calibrado a proporciones de 100 y 1000 sin que choque con el fondo

### 3.8.3. *Materia orgánica*

#### 3.8.3.1. *Materiales*

- Mandil
- Guantes de látex

- Crisoles
- Mascarilla
- Guantes de neopreno para altas temperaturas

### 3.8.3.2. Equipos

- Balanza
- Estufa
- Mufla

Una vez que las muestras están secas tanto la pulpa como la cascarilla se procede a triturar en el molino con un tamaño de partícula 2.5  $\mu\text{m}$ , una cantidad de 250 g

- Pesar 5 g de cada residuo en crisoles
- Ponerlos en la estufa por 24 horas a 105°C
- Al siguiente día sacar los crisoles con guantes de neopreno para evitar quemaduras
- Ponerlas en el desecador por 30 minutos para que se enfríe
- Pesar los crisoles los cuales se convertirán en el peso inicial
- Después 3 horas en la mufla a 550 °C
- Llevar los crisoles al desecador y esperar a que se enfríe y a continuación pesar en la balanza digital con 4 decimales

Para calcular el porcentaje de materia orgánica se necesita el peso inicial de la muestra el peso inicial después de estar en la estufa y el peso final después de estar en la mufla utilizando la siguiente fórmula:

$$\%MO = \frac{Prs_{105^{\circ}} - Prs_{550^{\circ}}}{Prs_{105^{\circ}} - Pcrs} \times 100$$

**Ecuación 2-3:** Ecuación para determinar la materia orgánica

Donde:

$P_{rs}$ : Peso del residuo seco

$P_{crs}$ : Peso del crisol vacío

### **3.8.4. pH**

Una vez que las muestras están secas tanto como la pulpa y la cascarilla se procede a triturar en el molino con un tamaño de partícula 2.5  $\mu\text{m}$ , una cantidad de 250 g

#### *3.8.4.1. Materiales*

- Mandil
- Guantes de látex
- Tubos de agitación plásticos
- Mascarilla
- Agua destilada
- Vasos de precipitación
- Papel filtro

#### *3.8.4.2. Equipos*

- Balanza
  - Shaker de 500 rpm
  - Agua destilada
  - Agua destilada
- En tubos de agitación realizar una proporción 1 a 10 con agua destilada; ejemplo si se agrega 2g de los residuos triturados se debe agregar 20 ml de agua destilada
- Pesar 3 g de los residuos triturados y agregar 30 ml de agua destilada e identificarlos
- Agregar los tubos al shaker horizontalmente por 30 minutos a 350 RPM
- Sacar los tubos de sacar y dejar reposar verticalmente para que se sedimenten
- En un vaso de precipitación de 50 ml, Realizar un cono con el papel filtro agregar la solución y dejar filtrar toda la noche.

- Con el uso del pH metro tomaremos datos introduciremos en el vaso de precipitación sin que choque el fondo y realizamos la medición.

### **3.8.5. Fósforo y potasio**

Para determinar el contenido de fósforo y potasio, se utilizó el procedimiento de espectrometría, siguiendo la metodología de Olsen. Para ello, se llevaron a cabo las siguientes disoluciones:

#### Soluciones y reactivos

- Disolución de 42g de Bicarbonato de Sodio en 50 ml de agua destilada y aforar en un balón hasta 1000ml.
- Disolver 4g de Molibdato de Amonio en 50 ml de agua destilada y aforar a 100ml.
- Disolver 0,275g de Tartrato de Antimonio y Potasio en 50 ml de agua destilada y aforar a 100ml.
- Disolver 1,75g de Ácido Ascórbico en 50 ml de agua destilada y aforar a 100ml.
- Adicionar 56ml de Ácido Sulfúrico concentrado en 150ml de agua destilada agitar, enfriar y, aforar a 250ml.
- Para la solución patrón. Tomar 2ml de Fósforo 1000ppm y aforar a 50 ml.
- Tomar 4 alícuotas de 1, 3,4 y 5ml de la solución patrón y aforar a 100ml.
- Realizar la mezcla de las disoluciones realizadas: 200ml de agua destilada, 50ml Ácido Sulfúrico, 15ml de Molibdato de amonio, 30ml de Ácido Ascórbico y 5ml de Tartrato de Antimonio y Potasio.

#### Procedimiento

- Agregar 2g de cada muestra de suelo seco y tamizado a 2mm en un tubo y añadir 40ml de la solución preparada de bicarbonato de sodio.
- Agitar las muestras a 350 rpm por 30 minutos.
- Filtrar las muestras en vasos de precipitación usando papel filtro.
- Colocar una cucharada (0,5g) de carbón activado en un tubo de ensayo, adicionar 3ml de la muestra filtrada y 3 ml de agua destilada.

- Agitar las muestras a 350 rpm por 15 minutos.
- Colocar las muestras en una centrífuga por 5 minutos.
- Sacar con la pipeta 3ml de la muestra transparente y colocar en un tubo de ensayo.
- Adicionar 1ml de los reactivos mezclados en cada muestra.
- Dejar reposar 1 hora las muestras hasta que obtengan una coloración azul.

Para la determinación de Potasio:

- Llevar las muestras a un espectrómetro de absorción atómica y anotar los datos.
- Realizar los cálculos mediante la siguiente ecuación.

$$meq/100gK = \frac{[C] \times V}{W \times 10000} \times P_{molK}$$

**Ecuación 3-3:** Ecuación para determinar el potasio

Donde:

[C]: Valor obtenido en el espectrofotómetro

V: Volumen del extracto

W: Peso de la muestra del residuo

P<sub>molK</sub>: Peso molecular del Potasio

Para la determinación de Fósforo:

- Tomar los estándares de calibración preparados a 1,3,4, 5ml y leer en el espectrofotómetro para construir la curva de calibración.
- Llevar cada muestra e insertar en el espectrofotómetro para determinar el valor.
- Realizar los cálculos mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{mgP}{kg} = \frac{[C] \times V}{W}$$

**Ecuación 4-3:** Ecuación para determinar el fósforo

Donde:

[C]: Valor obtenido en el espectrofotómetro

V: Volumen del extracto

W: Peso de la muestra del residuo

### **3.8.6. Control de los parámetros de pH, humedad y temperatura**

La toma de los parámetros se desarrolló con el equipo multi paramétrico “Water proof APERA” en la toma de pH y temperatura.

Los parámetros son tomados dos veces por semana, la toma de datos de temperatura se realiza de manera controlada con la finalidad de airear la pila, en la toma de datos del pH se lo toma después de homogeneizar los tratamientos y los datos de la humedad se realiza en el laboratorio llevando una muestra, la pulpa de café al tener una alta concentración de humedad y la cascarilla al tener un bajo porcentaje de humedad se complementan.

### **3.9. Análisis estadístico de los parámetros controlados**

#### **3.9.1. Análisis estadístico**

Se promedió los valores semanales y variaciones que tenía cada parámetro (pH, humedad y temperatura), estos parámetros fueron anotados y graficados para observar los cambios a lo largo de las 16 semanas, siguiendo la metodología propuesta (Pierre et al., 2009). Esta técnica resultó de gran ayuda para identificar en qué fase se encontraba cada uno de los tratamientos evaluados.

#### **3.9.2. Control del proceso**

Durante el proceso de co-compostaje se midieron los parámetros de temperatura y humedad, los cuales son indicadores importantes para determinar las etapas del proceso. El volteo de las pilas se realizó de forma manual con palas, y se llevó a cabo 3 veces a lo largo del proceso, en función de la temperatura alcanzada. El proceso se consideró finalizado cuando la temperatura llegó a valores de 24 °C, similar a la temperatura ambiente de la Parroquia Sinaí. A partir de ese momento, se inició la fase de maduración, en la cual las pilas se colocaron en forma trapezoidal y se mantuvieron durante 120 días.

Una vez concluida la fase de maduración, se tamizó el compost obtenido y se tomaron muestras iniciales y finales para su análisis en laboratorios. En la Facultad de Ciencias de la ESPOCH en Riobamba se analizó la materia orgánica, pH, humedad, fósforo y potasio, mientras que los parámetros de nitrógeno total y carbono orgánico fueron analizados en los laboratorios del INIAP en Santa Catalina Tambillo, en la ciudad de Quito. De esta manera, se determinó cuál tratamiento resultó ser el mejor en función de los parámetros evaluados, incluyendo la relación carbono nitrógeno de cada tratamiento. No se utilizó ningún análisis estadístico durante el proceso.

### 3.10. Análisis químicos de los tratamientos

**Tabla 6-3:** Análisis químico de muestras del compost maduro

ANÁLISIS QUÍMICO	
Parámetro	Método
Carbono Orgánico Total	Método WALKEY Y BLACK
Nitrógeno Orgánico Total	Método de MACROKJELDHAL
pH	Método de Olsen por potenciometría
Potasio K <sub>2</sub> O (%)	Método por espectrofotometría
Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Método por espectrofotometría

**Fuente:** (Cunolata et al., 2013, pp. 9-12)

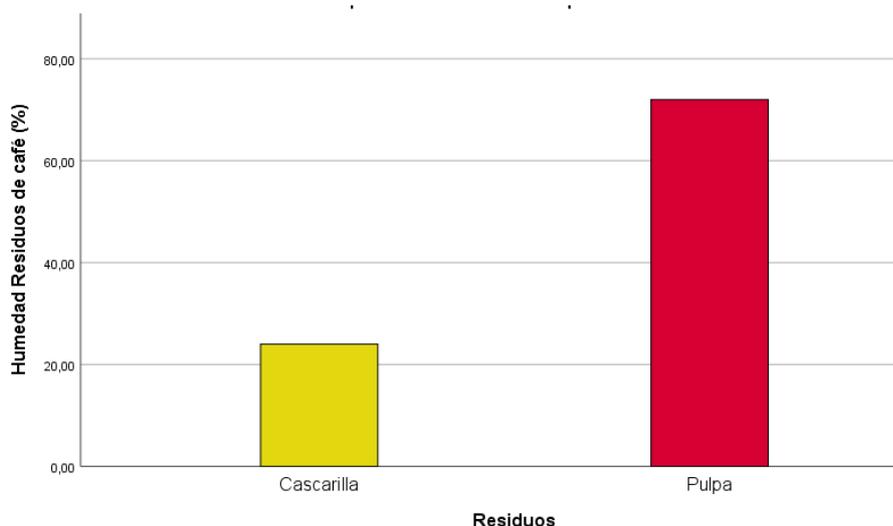
**Realizado por:** Betancourt, Dennis 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización fisicoquímica de los residuos de café

##### 4.1.1. *Humedad de los residuos*



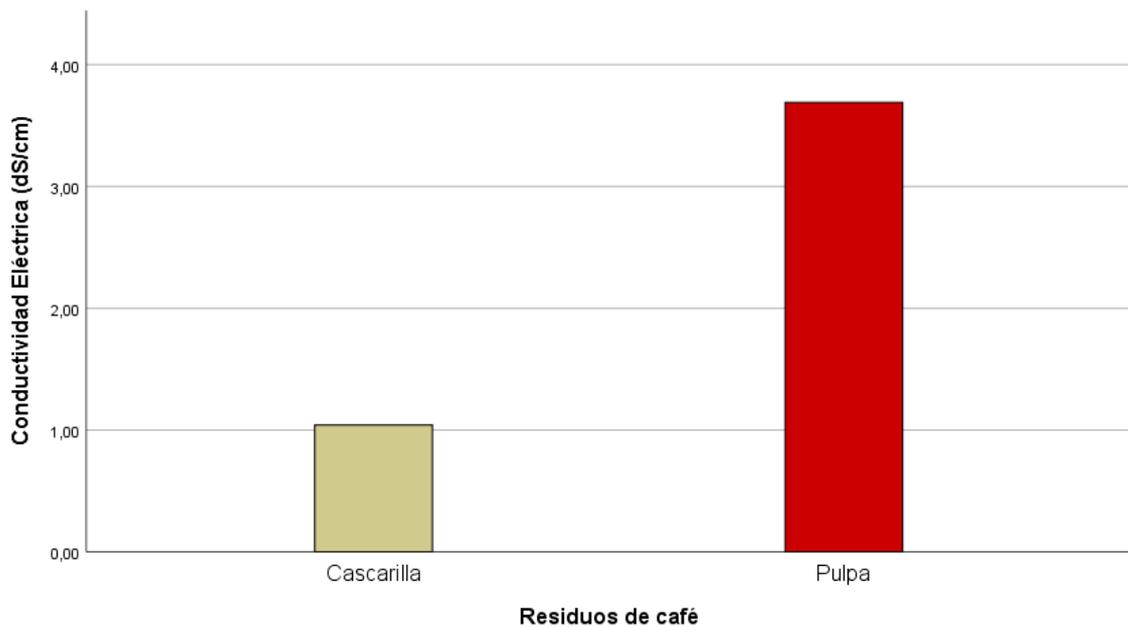
**Ilustración 1-4:** Porcentaje de humedad de los residuos de café

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 1-4 la humedad de la cascarilla fue un 24% y de la pulpa un 72%. Según Figueroa, Pérez y Godínez, (2012, p. 45) los residuos de café tienen la característica de ser húmedos, en la pulpa un 70% se comprende de agua, el 10% es proteína, el 7% está compuesto por grasa y el 13% está compuesto por carbohidratos claves para una degradación biológica, mientras que la cascarilla ronda alrededor de un 20% es el resultado del grano de café seco en el proceso del trillado.

Según (Criado, 2019, p. 23) menciona es su investigación que al realizar dos tratamientos obtuvo resultados favorables al compostar porquinaza, pulpa de café y aserrín, pero al realizarlo con cascarilla de café no alcanzó la relación carbono/nitrógeno esperada, por lo cual la pulpa de café puede considerarse como un residuo apto para realizar procesos de compostaje con estiércol porcino y vacuno.

#### 4.1.2. Conductividad eléctrica



**Ilustración 2-4:** Conductividad eléctrica de los residuos de café

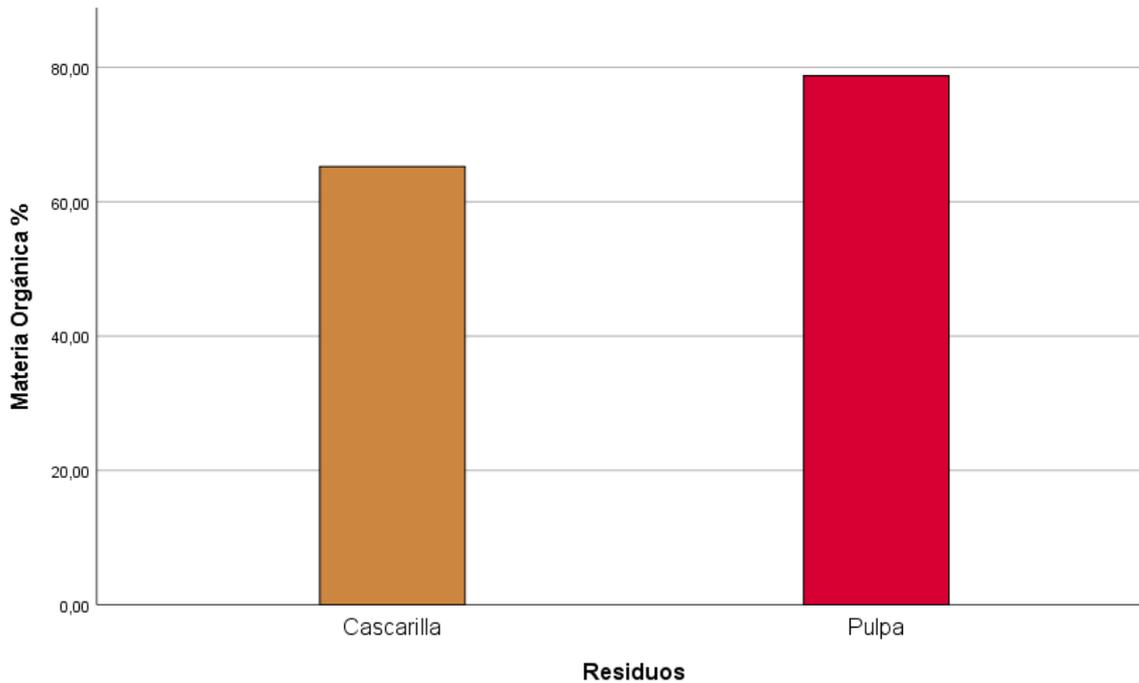
**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022

La conductividad eléctrica de la cascarilla fue 1.04 dS/cm y de la pulpa de café 3,69 dS/cm, estos resultados guardan relación con lo que sostiene Pierre et al., (2009, p. 25) y (Khalajabadi y Osorio, 2014, p. 36) donde expresan que la conductividad eléctrica de la pulpa de café se debe a la mineralización de la materia orgánica determinado por la concentración de los nutrientes y sales.

Estos datos pueden indicar que los residuos se encuentran de acorde al estudio realizado por (Altamirano, 2020, p. 9) el cual expresa que las sales minerales presentes en estos residuos pueden utilizarse para desarrollar un compostaje, al aplicar este tratamiento en el suelo mejora la conductividad eléctrica, la salinidad e intercambio catiónico.

El incremento de la conductividad eléctrica afecta al porcentaje de humedad, al desechar la pulpa de café directamente sobre el suelo podría ocasionar problemas de permeabilidad, el nivel de salinidad en el suelo se incrementaría por lo cual se debe dar un manejo adecuado de estos residuos con la posibilidad de convertirlos en subproductos(Quintero y Cuervo, 2020, p-14).

### 4.1.3. *Materia orgánica*



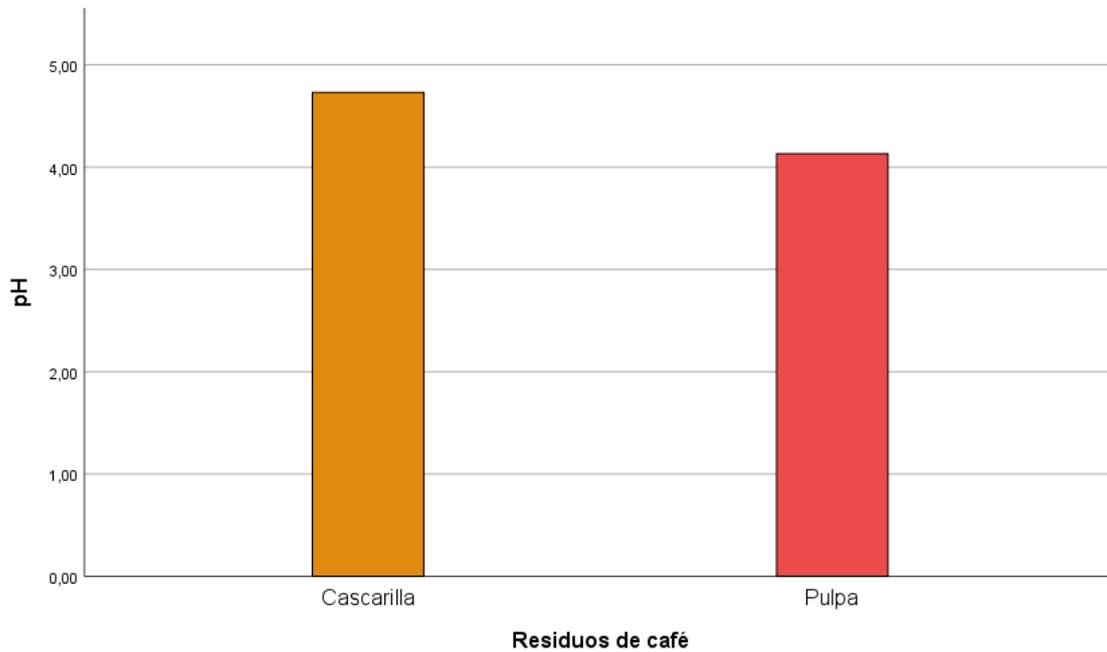
**Ilustración 3-4:** Porcentaje de materia orgánica presente en los residuos de café

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

El porcentaje de materia orgánica fue 65,25% para la cascarilla y 78,76% para la pulpa tal y como indica la ilustración 3-4, Giubi, Bernal y Cañete, (2019, p. 56) expresa que el porcentaje de materia orgánica en los residuos orgánicos es un factor imprescindible para que se desarrolle un tratamiento convirtiéndolo en un material estable y aprovechable, el porcentaje de materia orgánica en su investigación es acorde con lo que en este estudio se halla. (Reiser y Ruiz, 2018, p. 3) mencionan que mientras el porcentaje de materia orgánica sea superior al 70% puede ser utilizado como enmienda orgánica.

El porcentaje del 78,76% de materia orgánica presente en la pulpa de café se debe a su contenido de fibra cruda, materia seca, taninos y proteína teniendo concordancia con los estudios realizados por (Fierro et al., 2018, p. 11) donde se lo utiliza para desarrollar la producción de metabolitos secundarios.

#### 4.1.4. pH



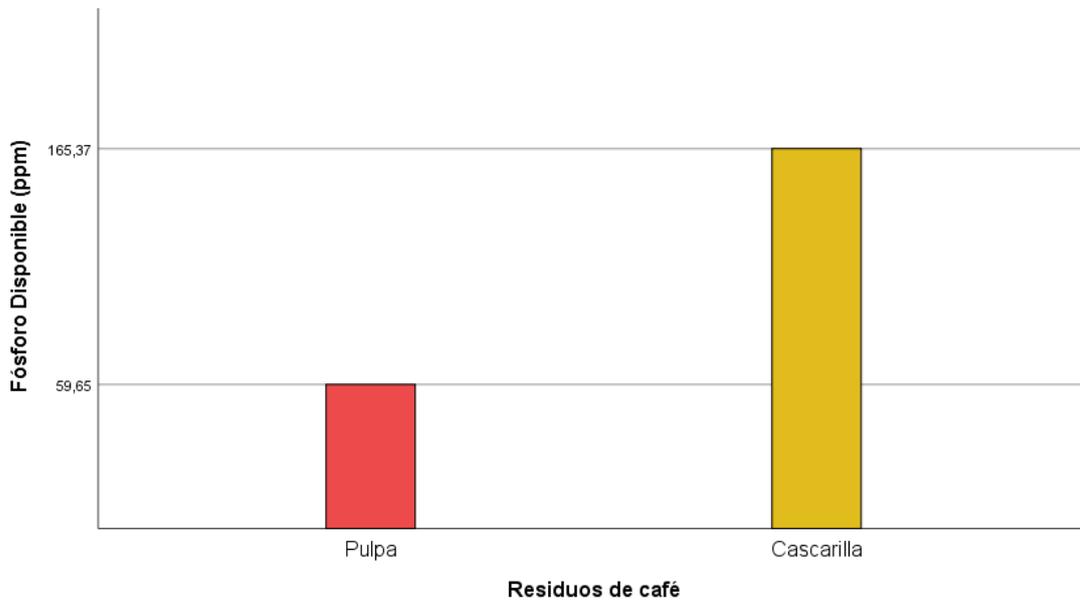
**Ilustración 4-4:** pH de los residuos de café

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 4-4 se describe que el pH de la cascarilla fue 4,73 y de la pulpa fue 4,13 encontrándose dentro del rango ácido 4 a 5. Según (Arenas, 2017, p. 28) los valores del pH de la pulpa y la cascarilla deben estar por debajo de 5 por lo que encontramos una relación al estudio realizado.

La cascarilla tiene un valor superior al de la pulpa con respecto a los valores de la ilustración 4-4, debido a que ha pasado por el proceso de fermentación y secado al sol, mientras que la pulpa de café al ser un residuo inicial aún no ha llegado a ese proceso, al desarrollarse el proceso de compostaje el pH de los residuos de café pasa de ácido en la fase mesófila a alcalinos en la fase termófila, en la etapa de maduración disminuye obteniendo un pH neutro en el tratamiento pero no concuerda el estudio realizado por (Chasquero, 2019 p. 16) donde utiliza los residuos de la pulpa de café obteniendo valores de pH alcalinos.

#### 4.1.5. Fósforo disponible

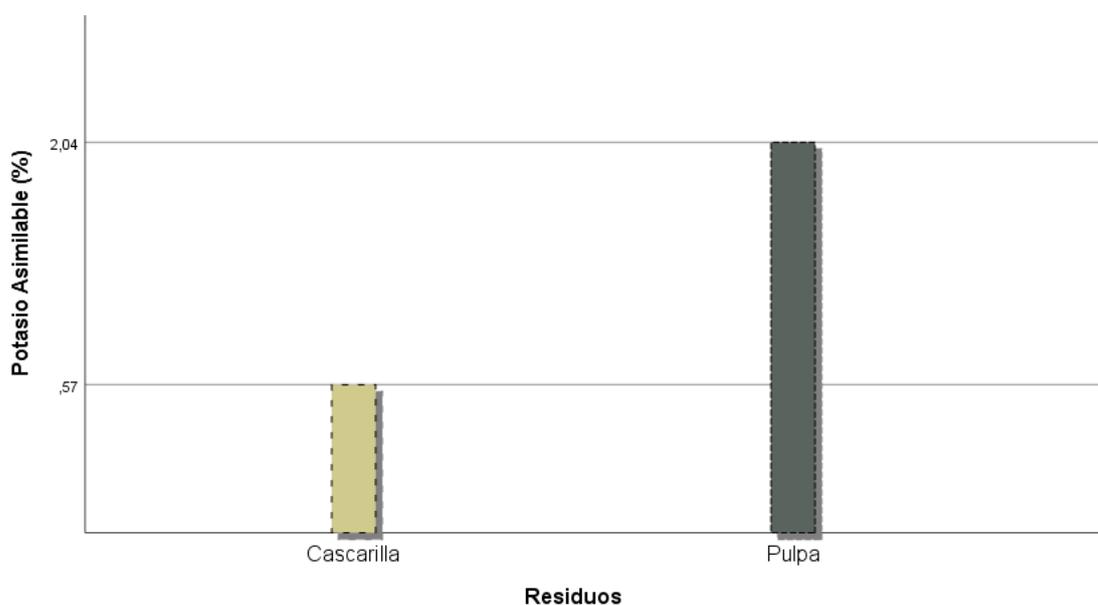


**Ilustración 5-4:** Porcentaje de fósforo disponible en los residuos de café

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022

La ilustración 5-4 indica los valores de fósforo disponible, la pulpa registró valores de 59,65 y la cascarilla 165,37 estando de acorde con lo que menciona (Orozco et al., 2016, p. 14) en su estudio donde la disponibilidad de fósforo en la cascarilla es 2.6 veces más que en la pulpa. (Avilés, 2018, pp. 28-35) menciona que al existir fósforo disponible en la cascarilla puede ser utilizada como un suplemento orgánico para las plantas y cultivos con el objetivo de favorecer el desarrollo, se puede convertir en un abono orgánico después de pasar por un proceso de degradación que en el caso de la cascarilla comprenden un 70% de almidón.

#### 4.1.6. Potasio asimilable



**Ilustración 6-4:** Porcentaje de potasio asimilable presente en los residuos de café

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 6-4 la cascarilla alcanzó valores de 0,57 y la pulpa 2,04 entrando en desacuerdo con los valores obtenidos por (Gómez, 2006, p. 28) en su estudio debido a que las condiciones donde se obtuvo los residuos varían al ser un clima cálido. Estos resultados indican que pueden ser considerados como un macronutriente para las plantas, de acuerdo con (Pérez, 2016, p.17) la pulpa de café puede convertirse en una solución viable para el aprovechamiento de los residuos al extraer la cantidad de potasio asimilable que tiene mediante tratamientos con estiércol.

### 4.2. Control de los parámetros de pH, humedad y temperatura

#### 4.2.1. Control de pH

**Tabla 1-4:** Datos del pH controlado en los 3 tratamientos durante 16 semanas

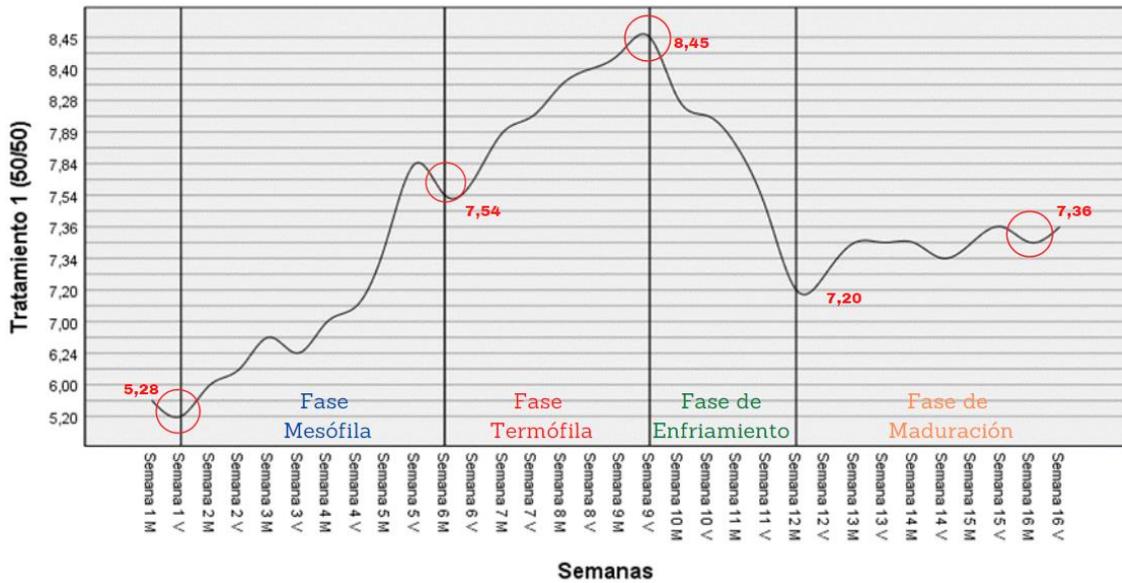
Datos Semanales	Pila 1 50/50	Pila 2 60/40	Pila 3 70/30
Semana 1 M	5,28	5,10	5,14
Semana 1 V	5,20	5,00	4,90
Semana 2 M	6,00	5,50	5,20
Semana 2 V	6,12	5,65	5,26
Semana 3 M	6,50	6,00	5,80
Semana 3 V	6,24	6,12	6,20
Semana 4 M	7,00	6,50	6,35
Semana 4 V	7,15	6,85	6,55
Semana 5 M	7,35	7,14	7,02
Semana 5 V	7,84	7,23	7,12
Semana 6 M	7,54	7,25	7,18

<b>Semana 6 V</b>	7,66	7,30	7,25
<b>Semana 7 M</b>	7,89	7,40	7,38
<b>Semana 7 V</b>	8,12	7,45	7,55
<b>Semana 8 M</b>	8,34	7,85	7,65
<b>Semana 8 V</b>	8,40	7,98	7,80
<b>Semana 9 M</b>	8,42	8,25	8,00
<b>Semana 9 V</b>	8,45	8,30	8,12
<b>Semana 10 M</b>	8,28	8,14	8,10
<b>Semana 10 V</b>	8,12	8,10	8,02
<b>Semana 11 M</b>	7,85	7,56	7,89
<b>Semana 11 V</b>	7,41	7,40	7,58
<b>Semana 12 M</b>	7,20	7,52	7,45
<b>Semana 12 V</b>	7,30	7,25	7,40
<b>Semana 13 M</b>	7,35	7,28	7,48
<b>Semana 13 V</b>	7,35	7,28	7,48
<b>Semana 14 M</b>	7,35	7,28	7,48
<b>Semana 14 V</b>	7,34	7,30	7,38
<b>Semana 15 M</b>	7,35	7,31	7,38
<b>Semana 15 V</b>	7,36	7,31	7,38
<b>Semana 16 M</b>	7,35	7,31	7,38
<b>Semana 16 V</b>	7,36	7,31	7,38

**Realizado por:** Betancourt, Dennis. 2022

En la tabla 7-4 se tomó datos del pH dos veces por semana, con la finalidad de identificar las fases del co-compostaje, se tomó el dato de 16 semanas los martes y viernes, los valores obtenidos fueron similares al estudio realizado por (Olmedo y Jimenéz, 2016, p. 11) donde se obtuvo un pH final neutro.

#### 4.2.1.1. Tratamiento 1 proporciones 50/50

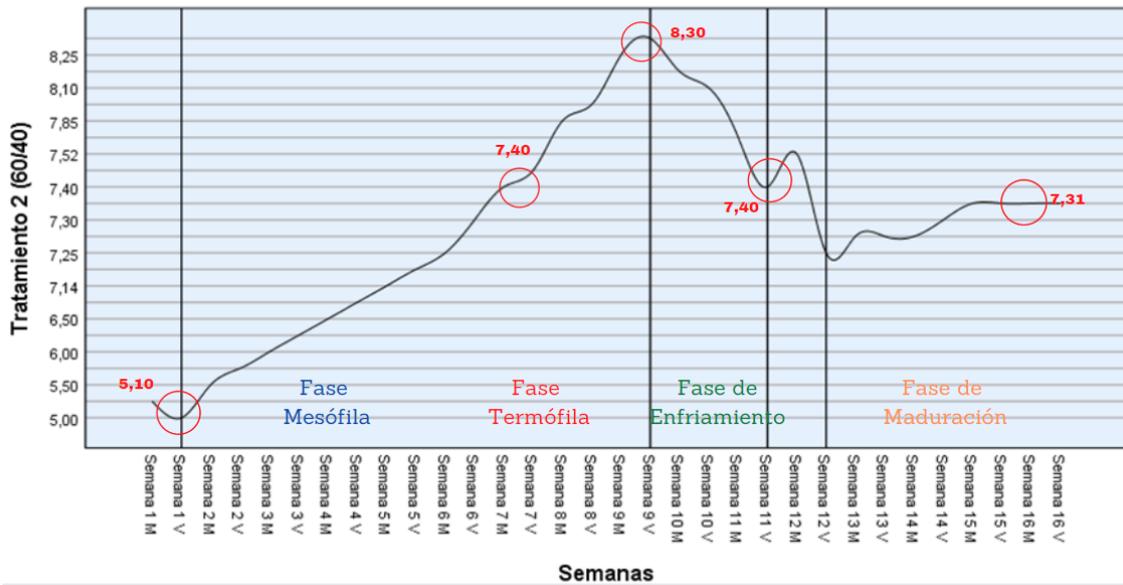


**Ilustración 7-4:** Primer tratamiento control de pH

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 7-4 el pH inicial fue de 5,28. La fase mesófila se dio de la primera semana a la sexta semana donde: existió una disminución producto de la reorganización de la materia orgánica, el pH pasó de ácido a neutro resultado de la degradación de la materia orgánica y se realizó el primer volteo. La fase termófila se dio desde la sexta semana hasta la novena semana se registró: que el pH aumentaba cada semana alcanzando el pH máximo de 8,45 realizándose el segundo volteo. La fase de enfriamiento duró 3 semanas observándose: que el pH disminuyó de decima semana a la doceava semana de 8,45 a 7,20. La Fase de maduración se desarrolló desde la doceava semana hasta la dieciseisava completando el tercer volteo con un pH neutro de 7,36 teniendo cómo dato referencial que esté compostaje ha alcanzado más rápido las fases que los demás tratamientos, los resultados guardan relación con lo que sostiene (Bueno, Diaz y Cabrera, 2017, p. 28)

#### 4.2.1.2. Tratamiento 2 proporciones 60/40

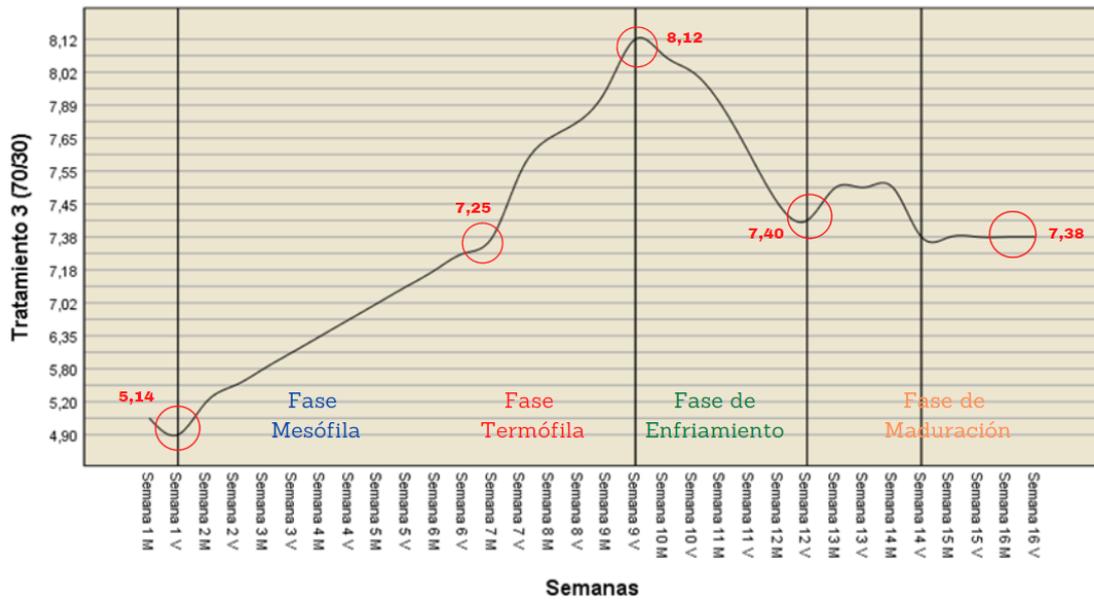


**Ilustración 8-4:** Segundo tratamiento control de pH

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

El pH inicial fue 5,10 descrito en la ilustración 8-4, en la primera semana hubo un decrecimiento en el pH debido a la homogeneización de los residuos con el estiércol empezando la fase mesófila, le tomó 7 semanas pasar de un pH ácido a neutro observando que de la semana 2 hasta la semana 9 incrementó el pH pasando de 5 (ácido) a 8,30 (alcalino) terminando su fase termófila y realizando su primer volteo, en la semana 10 el compost entra a la fase de enfriamiento y el pH va disminuyendo hasta la semana 11 en la cual se realizó el segundo volteo existiendo un incremento en el pH en la semana 12 por la homogeneización del compost, a partir de la semana 14 se consigue un pH estable y en la fase de enfriamiento mantiene un pH de 7,31, este tratamiento no concuerda con el estudio de (Valencia y Imbacuan, 2021, p. 32) en el que el pH alcalino se dio una semana antes con respecto a la fase de maduración a mi estudio, intervinieron factores como el clima y su estudio fue realizado en la región costa mientras que mi estudio fue desarrollado en la región amazónica.

#### 4.2.1.3. Tratamiento 3 proporciones 70/30



#### Ilustración 9-4: Tercer tratamiento control de pH

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 9-4 el pH inicial fue de 5,14, en la semana 1 existe una disminución producto del acondicionamiento de los residuos, de la semana 2 a la semana 7 el pH pasa de ácido a neutro resultado de la degradación de la materia orgánica encontrándose en la fase mesófila, se realiza el primer volteo la semana 9 observando que el tratamiento empieza la fase termófila dónde alcanza el pH máximo alcalino de 8,12 y se realiza el segundo volteo observando que el pH disminuye de semana en semana pasando en la fase de enfriamiento de 8,12 a 7,40, a partir de la semana 12 se realiza el tercer volteo dando inicio a la fase de maduración y su pH es neutro con un valor de 7,38 en lo cual este tratamiento obtuvo relación con la investigación realizada por (Vanegaz, 2019, pp. 21-27) donde el pH paso de ser alcalino en la fase termófila a un pH de 7,15 obteniendo valores similares a este estudio.

#### 4.2.2. Control de humedad

**Tabla 2-4:** Datos de la humedad controlada durante 16 semanas

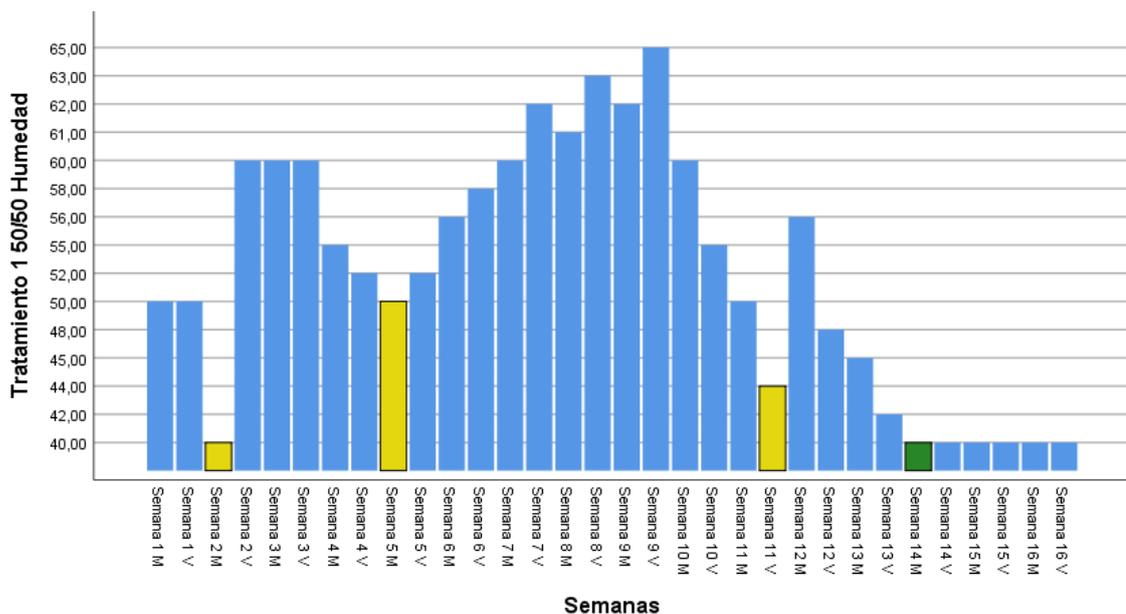
Datos Semanales	Pila 1 50/50	Pila 2 60/40	Pila 3 70/30
Semana 1 M	50,00	45,00	42,00
Semana 1 V	50,00	50,00	44,00
Semana 2 M	40,00	51,00	45,00
Semana 2 V	60,00	52,00	44,00
Semana 3 M	60,00	53,00	48,00
Semana 3 V	60,00	55,00	50,00
Semana 4 M	55,00	58,00	52,00

<b>Semana 4 V</b>	52,00	50,00	51,00
<b>Semana 5 M</b>	50,00	48,00	50,00
<b>Semana 5 V</b>	52,00	46,00	52,00
<b>Semana 6 M</b>	56,00	50,00	54,00
<b>Semana 6 V</b>	58,00	50,00	57,00
<b>Semana 7 M</b>	60,00	52,00	53,00
<b>Semana 7 V</b>	62,00	55,00	58,00
<b>Semana 8 M</b>	61,00	59,00	55,00
<b>Semana 8 V</b>	63,00	60,00	50,00
<b>Semana 9 M</b>	62,00	62,00	58,00
<b>Semana 9 V</b>	65,00	63,00	59,00
<b>Semana 10 M</b>	60,00	60,00	59,00
<b>Semana 10 V</b>	55,00	60,00	60,00
<b>Semana 11 M</b>	50,00	55,00	62,00
<b>Semana 11 V</b>	44,00	58,00	62,00
<b>Semana 12 M</b>	56,00	55,00	60,00
<b>Semana 12 V</b>	48,00	54,00	58,00
<b>Semana 13 M</b>	45,00	50,00	54,00
<b>Semana 13 V</b>	42,00	50,00	52,00
<b>Semana 14 M</b>	40,00	48,00	50,00
<b>Semana 14 V</b>	40,00	42,00	45,00
<b>Semana 15 M</b>	40,00	42,00	42,00
<b>Semana 15 V</b>	40,00	42,00	40,00
<b>Semana 16 M</b>	40,00	42,00	40,00
<b>Semana 16 V</b>	40,00	42,00	40,00

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la tabla 8-4 se tomó datos de humedad dos veces por semana identificando las variaciones existentes y determinar las fases del co-compostaje, se tomó el dato de 16 semanas los martes y viernes, los valores resultantes fueron similares al estudio de (Chasquero, 2019, p. 18) donde se tomó los mismos residuos para desarrollar tratamientos pero existió una humedad máxima del 80%.

#### 4.2.2.1. Tratamiento 1 proporciones 50/50

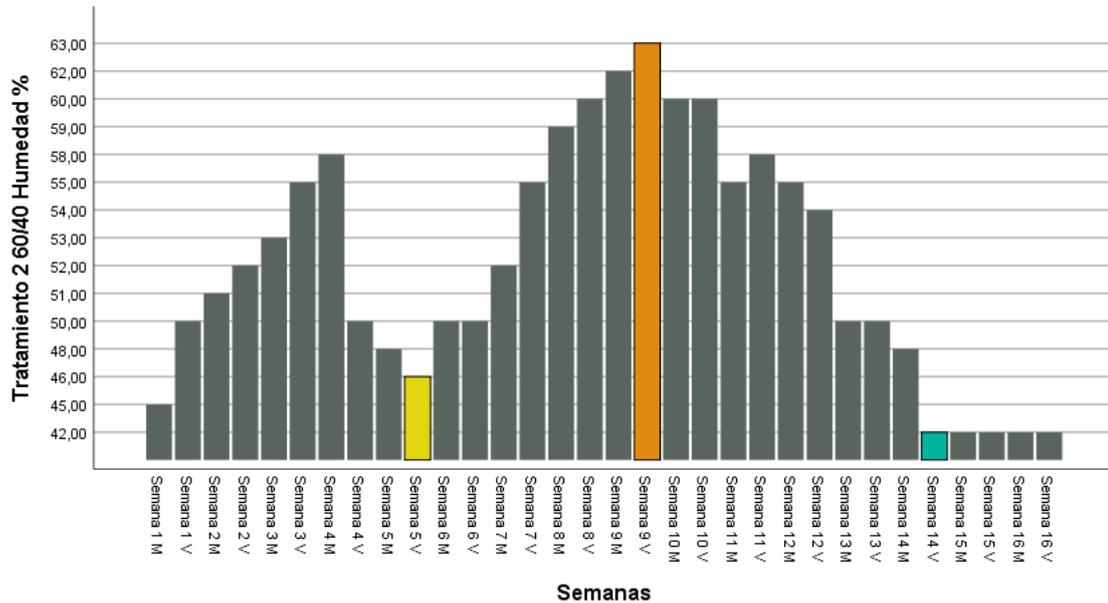


**Ilustración 10-4:** Control de humedad primer tratamiento

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 10-4 se registró una humedad inicial del 50% y se mantuvo la primera semana, en la segunda semana disminuyó un 10% por lo que se procedió a rociar el tratamiento con un aspersor, la humedad aumentó hasta la sexta semana en la cual se realizó el primer volteo y segundo rociado además en esta semana existió una disminución de humedad observando que el compostaje pasa de la fase mesófila a la fase termófila donde la humedad que necesitan los microorganismos debe ser superior al 50% para que degraden la materia orgánica, en la novena semana se alcanzó el mayor porcentaje de humedad con un 65% concluyendo la fase termófila iniciando la fase de maduración procediendo a el segundo volteo, en la doceava semana existe una disminución del porcentaje de humedad por lo que se procede a regar el compost homogeneizando los residuos y avanzando con el tercer volteo para introducirse en la fase de enfriamiento, en la catorceava semana se consigue una humedad estable del 40% lo cual es la humedad óptima para un compost. Bernal, (2018, p. 48) menciona en su estudio que al existir una humedad constante no se necesitó humedecer el compost esos datos sugieren que el desarrollo de su tratamiento fue en un clima húmedo.

#### 4.2.2.2. Tratamiento 2 proporciones 60/40

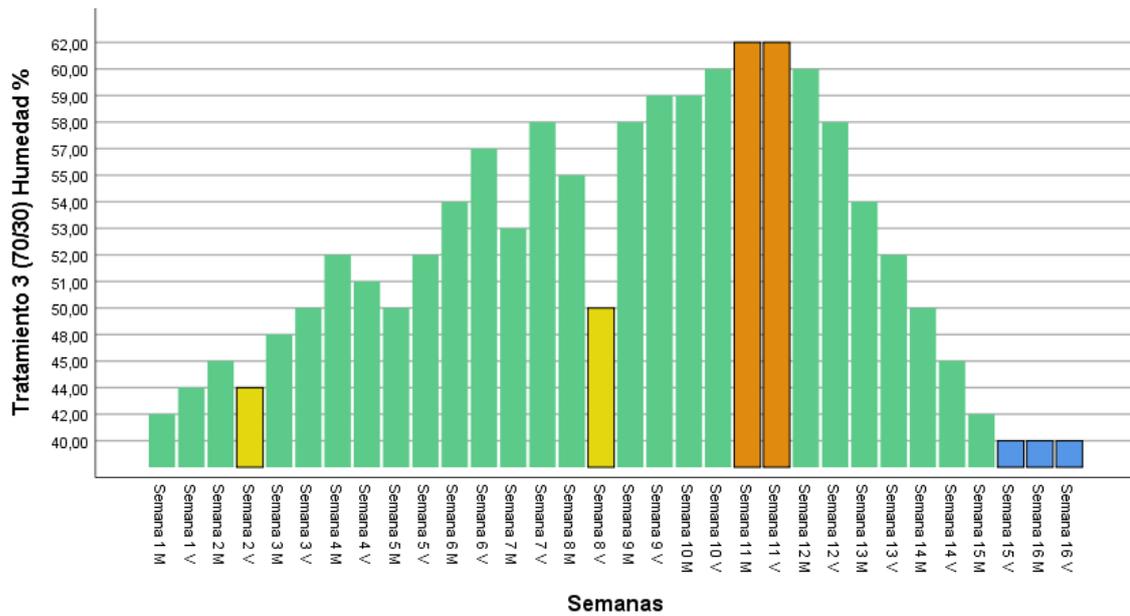


**Ilustración 11-4:** Control de humedad segundo tratamiento

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022

La humedad inicial del segundo tratamiento fue del 45% detallado en la ilustración 11-4, la humedad aumentó con el transcurso de las semanas por la homogeneización de los residuos y el estiércol, al estar arriba del 50% solo se procede a controlar y tomar los datos, en la quinta semana se observa una disminución en el porcentaje hasta un 46% por lo que se riega con un aspersor finalizando la fase mesófila en la séptima semana llevando a cabo el primer volteo y dando inicio a la fase termófila, en la novena semana se llega al porcentaje más alto de humedad con un 64% finalizando su fase termófila e iniciando su fase de maduración por lo que en las siguientes semanas la humedad fue disminuyendo llevando a cabo el tercer volteo en la doceava semana, los datos tomados nos ayudaron a cuantificar que en la catorceava semana en adelante se encontraba un porcentaje de humedad estable del 42% donde después de la medición el compostaje se encontraba en la fase de enfriamiento. Giubi, Bernal y Cañete, (2019, p. 55) menciona que el punto máximo de humedad se da al final de la fase termófila e inicios de la fase de maduración disminuyendo semana a semana hasta obtener una humedad estable por lo que el tratamiento se encuentra en su fase de enfriamiento y puede ser utilizado como abono, lo cual es acorde con lo que en este estudio se halla.

#### 4.2.2.3. Tratamiento 3 proporciones 70/30



**Ilustración 12-4:** Control de humedad tercer tratamiento

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 12-4 se registró una humedad inicial del 42% incrementando hasta la segunda semana donde disminuyó hasta un 44% por lo que se procedió a rociar el tratamiento con un aspersor, la humedad aumentó desde la tercera semana hasta la séptima semana en la cual se realizó el primer volteo y segundo rociado ya que la humedad que necesitan los microorganismos debe ser superior al 50% para que degraden la materia orgánica, el compostaje pasó de la fase mesófila a la fase termófila en la novena semana procediendo con el segundo volteo. En la onceava semana se alcanzó el mayor porcentaje de humedad con un 62% concluyendo la fase termófila iniciando su fase de enfriamiento, en la doceava semana se realiza el último volteo para entrar en la fase de enfriamiento, en la quinceava semana se consigue una humedad estable del 40%, (Mac-Donnell, 2018, pp. 24-47) menciona en su estudio que el porcentaje de humedad de un compost al estar en su fase de enfriamiento tiene que ser superior al 40%, con lo cual este tratamiento no se encuentra dentro de esos parámetros y no concuerda con el estudio de ese autor.

### 4.2.3. Control de temperatura

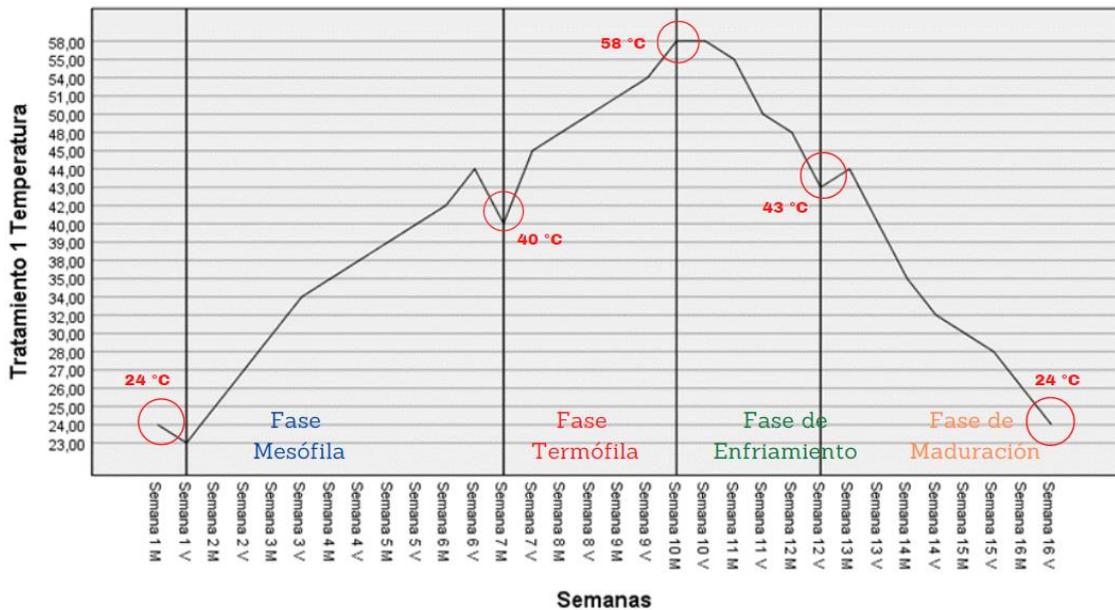
**Tabla 3-4:** Datos de temperatura controlado durante 16 semanas

Datos Semanales	Pila 1 50/50	Pila 2 60/40	Pila 3 70/30
Semana 1 M	24,00	24,00	24,00
Semana 1 V	23,00	24,00	25,00
Semana 2 M	25,00	26,00	24,00
Semana 2 V	27,00	27,00	26,00
Semana 3 M	30,00	28,00	24,00
Semana 3 V	34,00	30,00	29,00
Semana 4 M	35,00	32,00	32,00
Semana 4 V	38,00	34,00	32,00
Semana 5 M	39,00	35,00	35,00
Semana 5 V	40,00	38,00	38,00
Semana 6 M	42,00	39,00	39,00
Semana 6 V	44,00	41,00	40,00
Semana 7 M	40,00	43,00	42,00
Semana 7 V	45,00	42,00	45,00
Semana 8 M	48,00	45,00	46,00
Semana 8 V	50,00	47,00	47,00
Semana 9 M	51,00	48,00	42,00
Semana 9 V	54,00	48,00	45,00
Semana 10 M	58,00	50,00	48,00
Semana 10 V	58,00	52,00	50,00
Semana 11 M	55,00	54,00	54,00
Semana 11 V	50,00	50,00	54,00
Semana 12 M	48,00	42,00	49,00
Semana 12 V	43,00	41,00	48,00
Semana 13 M	44,00	40,00	45,00
Semana 13 V	40,00	37,00	46,00
Semana 14 M	35,00	36,00	40,00
Semana 14 V	32,00	33,00	39,00
Semana 15 M	30,00	30,00	35,00
Semana 15 V	28,00	29,00	34,00
Semana 16 M	26,00	26,00	30,00
Semana 16 V	24,00	25,00	28,00

**Realizado por:** Betancourt, Dennis, 2022

En la tabla 9-4 se tomó datos de humedad dos veces por semana, (Oviedo, Marmolejo y Torres, 2012 pp. 24-35) obtuvo resultados similares con respecto a la temperatura máxima alcanzada y existió una disminución luego de alcanzar una temperatura mayor a 50 °C terminando sus tratamientos con una temperatura ambiente.

#### 4.2.3.1. Tratamiento 1 proporciones 50/50

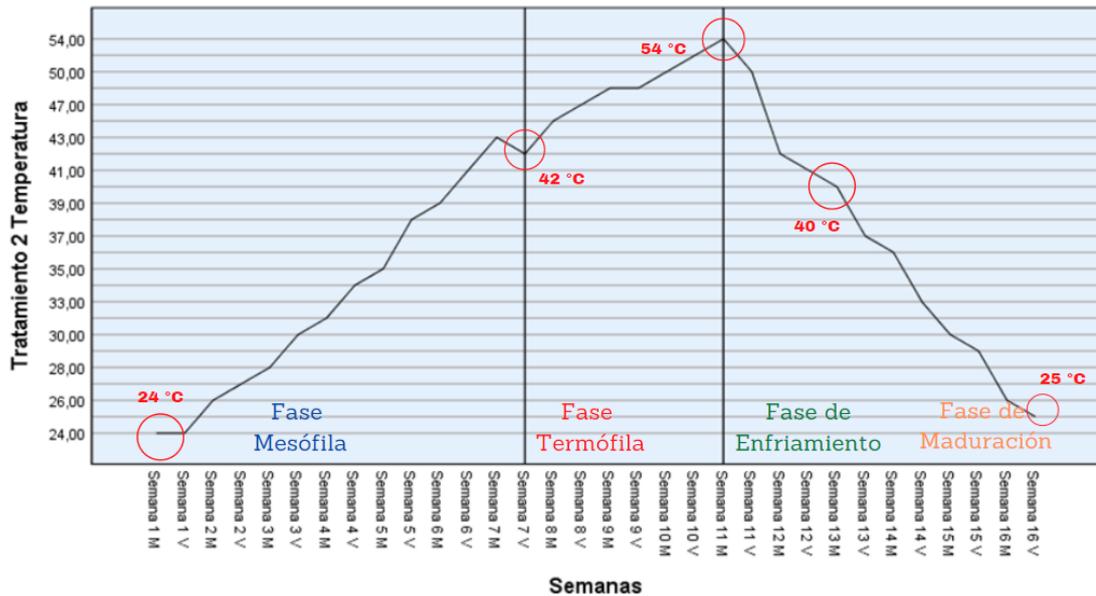


**Ilustración 13-4:** Primer tratamiento control de temperatura

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 13-4 se registró una temperatura inicial de 24 °C, en la primera semana disminuyó hasta los 23 °C debido a la homogenización de la materia orgánica, durante la segunda semana hasta la sexta semana existió un incremento en la temperatura hasta los 44°C se realizó el primer volteo por lo que en la séptima semana disminuyó la temperatura 4°C debido a la oxigenación de la materia orgánica, en la séptima semana hubo un incremento en la temperatura producto de la actividad microbiana y el compost pasaba de su fase mesófila a su fase termófila, en la novena semana se procede con el segundo volteo pero en la décima semana alcanzó la temperatura máxima de 58 °C a partir de la onceava semana disminuyó la temperatura producto del volteo, el compost finalizó su fase termófila e inició su fase de enfriamiento por lo que en la doceava semana se realizó el tercer volteo y la temperatura continuó disminuyendo siendo esta un indicador que el compost iniciaba su fase de maduración. Morales, (2021, p. 6) menciona en su investigación que los tratamientos de compost en ambientes controlados empiezan desde la temperatura ambiente, y el proceso de aumento o disminución de la temperatura dependió del clima ya que no se maneja el mismo clima donde se desarrolló el tratamiento, con ello se relacionan los valores obtenidos concordando con el autor.

#### 4.2.3.2. Tratamiento 2 proporciones 60/40

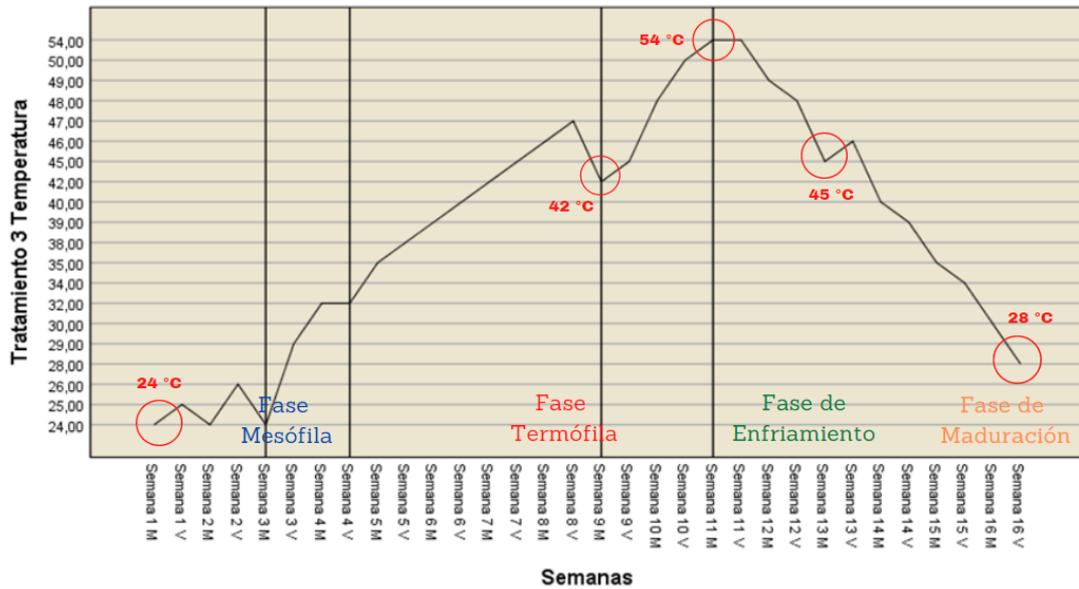


**Ilustración 14-4:** Segundo tratamiento control de temperatura

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 14-4 se cuantificó una temperatura inicial de 24 °C, la temperatura incrementó por la degradación de materia orgánica de los microorganismos de la primera semana a la séptima semana se procedió con el primer volteo en esa semana terminó su fase mesófila y comenzó la fase termófila ya que la temperatura fue aumentando, la fase termófila se desarrolló entre la séptima semana hasta la novena realizándose el segundo volteo, en la doceava semana finalizó la fase termófila por lo cual el tercer volteo fue ejecutado pero se registró un pico de temperatura de 54 °C en la onceava semana, la temperatura decreció y la fase de enfriamiento fue notoria, el tratamiento alcanzó una temperatura ambiente en la dieciseisava semana con un valor de 25 °C. Mejía y Ramos, (2019, p. 38) en su estudio menciona que a temperaturas superiores a los 60 °C disminuye la degradación de materia por lo cual se debe proceder a una oxigenación.

#### 4.2.3.3. Tratamiento 3 proporciones 70/30



**Ilustración 15-4:** Tercer tratamiento control de temperatura

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

En la ilustración 15-4 se registró una temperatura inicial de 24 °C, en la primera semana disminuyó hasta los 24 °C debido a la homogenización de la materia orgánica, durante la segunda semana hasta la séptima semana existió un incremento en la temperatura hasta los 42 °C se realizó el primer volteo, el incremento en la temperatura fue producto de la actividad microbiana y el compost pasaba de su fase mesófila a su fase termófila, en la novena semana se procede con el segundo volteo con una temperatura de 42 °C, la doceava semana fue clave por lo cual se desarrolló el tercer volteo ya que la temperatura era de 54 °C, en las siguientes semanas disminuyó la temperatura por la oxigenación, el compost finalizó su fase termófila e inició su fase de enfriamiento hasta la catorceava semana, la temperatura alcanzada por el tratamiento en su fase de maduración fue de 28 °C. Rivas y Silva, (2020, pp. 38-40) menciona en su investigación que una degradación de la materia más rápida se da en el porcentaje de materia orgánica, obteniendo un abono maduro, con lo cual este estudio no concuerda con la investigación desarrollada por el autor.

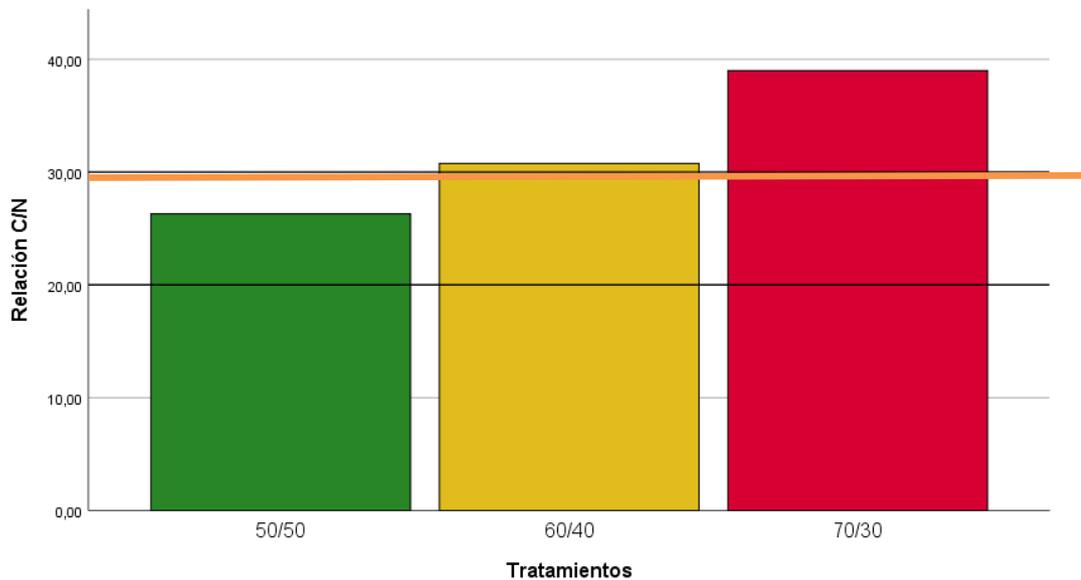
### 4.3. Análisis químicos de los tratamientos

**Tabla 4-4:** Parámetros químicos evaluados a cada tratamiento

Parámetro	Materia Prima		
	Pila1	Pila 2	Pila3
Nitrógeno Total NT (%)	2,01	1,75	1,4
Carbono Orgánico (%)	52,98	53,87	54,71
Potencial de Hidrógeno (pH)	7,36	7,31	7,38
Potasio K2O (%)	1,29	1,14	0,85
Fósforo P2O 5 (%)	107,63	64,51	39,4
Relación C/N	<b>26,3</b>	<b>30,76</b>	<b>38,99</b>

Realizado por: Betancourt, Dennis. 2022

En la tabla 10-4 los resultados obtenidos guardan relación con (Torres, 2011, pp. 4-11) lo que sostiene en el tratamiento de la pila 1 es favorable mientras que el resultado de la pila 2, 3 obtuvo una relación carbono nitrógeno superior a 30. Según (Vásquez et al., 2010, p.40) el nitrógeno total y fosforó disponible en los tratamientos varia en las 3 pilas producto de la descomposición de la materia orgánica las cuales fueron armadas con residuos de café y estiércol. En el estudio realizado por (Rivas y Silva, 2020, pp. 50-55) no concuerda con los valores de potasio, fósforo y la relación carbono/nitrógeno.



**Ilustración 16-4:** Relación Carbono Nitrógeno

Realizado por: Betancourt, Dennis, 2022

La relación carbono nitrógeno según (Gamarra et al., 2018, pp. 17-19) menciona que un abono con material de estiércol vacuno para que sea optimo la relación carbono nitrógeno tiene que estar superior a 20/1 e inferior a 30/1 donde solo la pila 1 con 50% de estiércol y 50% de residuos cumplió esos parámetros con 26,30 mientras que las otras dos pilas superaron este valor.

La relación carbono/nitrógeno dentro de un compost demuestra la madurez, al presentarse valores bajos y estables, al existir una relación carbono nitrógeno superior a 30 puede determinar que el compost aún es muy joven y necesita pasar por un proceso de oxidación(Rivas y Silva, 2020, p.58).

El material orgánico del segundo y tercer tratamiento no está apto para el uso además al colocarse en el suelo tardará mucho tiempo en descomponerse, su aportación el suelo será nulo porque necesita más tiempo para su descomposición.

## CONCLUSIONES

- Se elaboró tres pilas de compostaje utilizando la metodología de pilas Windrow, cada tratamiento constó de una mezcla de residuos y estiércol vacuno en relaciones de 50/50, 60/40 y 70/30 controlando los parámetros de pH, humedad y temperatura, con volteos conforme el compostaje lo necesitaba.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica de los residuos de café donde se obtuvo un porcentaje de humedad en la pulpa de un 72% y de la cascarilla un 24%, una conductividad eléctrica en la pulpa de 3,69 dS/cm y en la cascarilla 1,04 dS/cm, un porcentaje de materia orgánica de 78,76 % en la pulpa y un 65,25% en la cascarilla, un pH ácido de 4,13 en la pulpa y 4,73 en la cascarilla, en potasio asimilable la pulpa obtuvo 2,04 % y la cascarilla 0,57 % y en fósforo disponible la pulpa obtuvo 59,65ppm y la cascarilla 165,37ppm.
- Se midieron los parámetros de humedad, pH y temperatura en los tres tratamientos, lo que ayudó a determinar en qué fase se encontraba el compost, se observaron variaciones desde la segunda semana y se evidenciaron los cambios que se desarrollan al realizar la oxigenación y homogeneización de la materia orgánica. En general, el monitoreo de estos parámetros es importante para asegurar un proceso de compostaje eficiente y efectivo, ya que pueden afectar la calidad final del compost producido, al tener conocimiento de estas variables, se pueden realizar ajustes y mejoras en el proceso para obtener un compost de alta calidad.
- Se determinó a través de un análisis químico evaluando los parámetros de nitrógeno total, carbono orgánico, pH, potasio asimilable, fósforo disponible y una relación carbono nitrógeno, las 3 pilas se mantenían con valores similares en los primeros 5 parámetros pero en la relación carbono nitrógeno para que sea óptima con estiércol vacuno la relación tiene que ser superior a 20/1 e inferior a 30/1 donde solo el tratamiento 1 con 50% de estiércol y 50% de residuos cumplió esos parámetros con 26,30 ppm los otros tratamientos requieren mayor tiempo de maduración para obtener una relación C/N óptima.

## **RECOMENDACIONES**

- Se sugiere que se desarrolle el proceso del compostaje aprovechando todos esos residuos entre los meses de abril y junio donde se podría realizar un estudio más exhaustivo para mejorar la calidad del compost
- Desarrollar una socialización con los caficultores para evitar que se siga desechando los residuos del café directamente sobre el suelo y los cultivos.
- Para estudios futuros se recomienda realizar la combinación del compost con microorganismos facultativos que ayuden a una rápida degradación y el proceso del compostaje pueda desarrollarse en menos tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALCALDÍA DE MORONA.** *Crecimineto de la población en la provincia de Morona Santiago/Parroquias. Alcaldia Morona* [en línea]. Macas-Ecuador: GAD Municipal del Cantón Morona, 2012. [Consulta 1 Junio 2022]. Disponible en: <http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/Proyectos/SUBSISTEMA12/MEMORIA%20TECNICA%20ALCANTARILLADO%20SUBSISTEMA%2012.pdf>

**ALTAMIRANO, D.** La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Alto Pitocuna del distrito de Río Negro, (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Continental, Facultad de Ciencias. (Huancayo-Perú). 2020. pp. 09-09. [Consulta: 2022-06-12]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Huisa\\_Altamirano\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV_FIN_107_TE_Huisa_Altamirano_2020.pdf)

**ARANGO, S; et al.** “Análisis fisicoquímico del proceso de co-compostaje de biomasa de leguminosa y ruminaza”. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* [en línea], 2016, (Colombia) 10(2), pp. 09-09. [Consulta 12 Junio 2022] ISSN 2011-2173. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas/article/view/4052](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/4052)

**ARENAS, C.** Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de ingenierías. (Medellín-Colombia). 2019. pp. 28-28. [Consulta: 2022-06-19] Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3303>

**AUQUILLA, E.** Co-compostaje de gallinaza proveniente de la granja avícola Fernandita de la ciudad de Riobamba, (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias. (Riobamba-Ecuador). 2019. pp. 16-16. [Consulta: 2022-06-12]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/10803/1/236T0432.pdf>

**BAQUERO, V.** Aprovechamiento de residuos orgánicos residenciales para la generación de abono en bogotá (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad de América, Facultad de educación permanente y avanzada. (Bogotá-Colombia). 2019. pp. 36-39. [Consulta: 2022-06-19]. Disponible <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7254/1/811710-2019-I-GA.pdf>

**BERNAL, J.** “Optimización del proceso de compostaje en pilas por volteo, como alternativa económicamente viable para la disposición final de residuos vegetales generados en una empresa floricultora”. *Analytical Biochemistry* [en línea], 2018, (Colombia) 8(2), pp. 48-48. [Consulta 20 Junio 2022], ISSN 10960309. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimizaci%C3%B3n-del-proceso-de-compostaje-en-pilas-por-Ram%C3%ADrez-Mateo/d97031cc10419202da98cc4b15a0c30948b04354>

**BOHÓRQUEZ, W.** *El proceso de compostaje* [en línea]. Bogotá-Colombia: Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle, 2020. [Consulta 13 Junio 2022]. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071>

**BUENO, P; et al.** “Factores que afectan al proceso de Compostaje. *Advanced Materials*”. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica [en línea], 2017, (España) 21(2), pp. 03-03. [Consulta 12 Junio 2022] ISSN 15214095. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

**CHASQUERO, A.** Análisis de la Reactividad del Compost de Pulpa de Café y Estiércol de Cuy, en la Provincia de Jaén (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental. (Jaén-Perú). 2019. pp. 18-21. [Consulta: 2022-04-05]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3072479>.

**CRIADO, A.** Efecto de un inoculante comercial sobre las características físicas, químicas y biológicas a lo largo proceso de co-compostaje de porquinaza, pulpa de café y aserrín (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería civil y Ambiental. (Bogotá-Colombia). 2019. pp. 23-23. [Consulta: 2022-07-05]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/45189/u827120.pdf>

**CUNALATA, C; et al.** “Determinación de carbono orgánico total presente en el suelo y la biomasa de los páramos de las comunidades del chimborazo y shobol llinllin en Ecuador”. *Boletín del Grupo Español del Carbon* [en línea], 2018, (Ecuador) 11(4), pp. 09-12. [Consulta 12 Junio 2022] ISSN 2172-6094. Disponible en: <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/261>.

**FIGEROA, E; et al.** *La producción y el consumo del café* [en línea]. Valencia-España: ECORFAN-Spain, 2012. [Consulta 10 Junio 2022]. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/spain/libros/LIBRO\\_CAFE.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/libros/LIBRO_CAFE.pdf)

**FRANCO, L.** Evaluación Del Enriquecimiento De Compost De Pulpa De Café Con Mucílago (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [En línea] Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. (Jutiapa-Guatemala). 2018. pp. 21-23. [Consulta: 2022-06-09]. Disponible en: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/03/Franco-Luis.pdf>

**GAMARRA, C; et al.** “Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo”. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], 2018, (Paraguay) 9(46), pp. 08-08. [Consulta 20 Junio 2022] ISSN 2448-6671. Disponible en: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/134>.

**GARCÍA, C.A.** Uso del compost y papel de la materia orgánica del suelo en la producción de café, la situación en la zona de San José del Tambo, (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. (Los Ríos-Ecuador). 2021. pp. 06-10. [Consulta: 2022-04-06]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9359>

**GIUBI, J; et al.** “Biogás production from organic (La digestión anaeróbica )”. *Análisis de la Facultad de Ciencias Médicas* [en línea], 2019, (Colombia) 52(3), pp. 56-56. [Consulta 12 Junio 2022] ISSN 18168949. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>.

**GÓMEZ, R.** Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Departamento de Química-Universidad de Barcelona, (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [En línea] Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Ciencias Químicas. (Barcelona-España). 2010. pp. 131-131. [Consulta: 2022-06-12]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>

**GORDON, M.** Aprovechamiento del bagazo de fique en la producción compost, vereda ‘El Maco’, Municipio de Jámalo-Cauca, (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Corporación universitaria autónoma del Cauca, Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. (Cauca-Colombia). 2019. pp. 26-26. [Consulta: 2022-06-10]. Disponible en: <https://repositorio.uniautonomadeuca.edu.co/bitstream/handle/123456789/248/T%20IA-P%20114%202019.pdf>

**HERNÁNDEZ, O; et al.** *Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo* [en línea]. Chihuahua-México: Tecnociencia, 2010. [Consulta 10 Junio 2022]. Disponible en: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/719/822>

**INSIGMA.** *Estudio de alternativas de manejo para la creación de un área ecológica de conservación municipal en el cantón Morona, Provincia de Morona Santiago* [en línea]. Macas-Ecuador: GAD Municipal del Cantón Morona, 2015. [Consulta 1 Junio 2022]. Disponible en: [http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/DOCUMENTOS\\_PDF/INSIGMA\\_producto\\_1.pdf](http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/DOCUMENTOS_PDF/INSIGMA_producto_1.pdf)

**JARAMILLO, G., & ZAPATA, L.** Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería. Antioquia-Colombia. 2008. pp. 18-24. [Consulta: 2022-06-09]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

**JIMÉNEZ, A., & MASSA, P.** “Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola”. Ecuador Economía, [en línea], 2016, (Ecuador) 40(40), pp. 117-137. [Consulta 29 mayo 2022] ISSN 2343-5704. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1956/195648804006.pdf>

**KHALAJABADI, S. & OSORIO, H.** *Respuesta del café ( Coffea arabica L). a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo* [en línea]. Manizales-Colombia: cenicafé, 2014. [Consulta 18 Junio 2022]. Disponible en: [https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/542/1/arc065\(01\)34-43.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/542/1/arc065(01)34-43.pdf)

**LARA, D., & VELÁSQUEZ, L.** Propuesta para el manejo a los residuos sólidos generados en la plaza de mercado del casco urbano del municipio de la mesa Cundinamarca (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad Libre, Facultad de Ingeniería. Barranquilla-Colombia. 2016. pp. 33-36. [Consulta: 2022-05-29]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10397/tesis%20version%20final.pdf>

**LLENQUE, L; et al.** “Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales )”. Investigación científica (REBIOL) [en línea], 2020, (Colombia) 40(1), pp. 20-20. [Consulta 14 Junio 2022] ISSN 2313-3171. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8143257>

**MAC-DONNELL, M.** Producción, aplicación y beneficios de los extractos acuosos del compostaje (té de compost) (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias. (Santa Fé-Argentina). 2018. pp. 24-47. [Consulta: 2022-06-19]. Disponible en : <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1173/TFI.pdf>

**MEJÍA, E., & RAMOS, S.** Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa Mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausi y Guamate, mediante tratamientos biológicos, compostaje, co- compostaje, vermicompostaje y Takakura, (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias. (Riobamba-Ecuador). 2019. pp. 14-14. [Consulta: 2022-06-13]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10799/1/236T0430.pdf>

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y AGUA.** *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales* [en línea], vol. 2, no 3. Quito-Ecuador: Gobierno de todos, 2022 pp. 28-32. [Consulta 12 Junio 2022] Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)*. [en línea], vol. 3, no 3. Quito-Ecuador: Gobierno para todos, 2021 pp. 6. [Consulta 29 mayo 2022] Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>.

**MORALES, B;** Etapas del composteo y sus beneficios microbiológicos. Conferencia de la Asociación Poblana de Ciencias Microbiológica (Trabajo de titulación) (Doctorado). [En línea] Instituto Politécnico Nacional, Facultad de ciencias químico-biológicas. (Antioquia-Colombia). 2021. pp. 06-06. [Consulta: 2022-06-15]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/16597/161%20Morales-Barr%C3%B3n%202021%20Composteo.pdf>

**MORENO, J.** *Compostaje. Madrid España* [en línea]. Madrid-España: Mundi Prensa Libros, 208. [Consulta 18 Junio 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298016>

**MUÑOZ, P; et al.** *Effect of pile size on development of thermophilic phase in a composting process* [en línea]. Ciudad de México-México: Instituto Politécnico Nacional-UPIBI, 2014. [Consulta 3 Junio 2022] Disponible en: <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/410-Mexico-oral.pdf>

**OLMEDO, I., & JIMENÉZ, J.** “Evaluación agromorfológica de dos variedades de café arábica (*coffea arábica* l.) en tres localidades del cantón caluma, provincia Bolívar, Ecuador”. *Revista de Investigación Talentos* [en línea], 2016, (Ecuador) 3(2), pp. 44-46. [Consulta 08 Junio 2022] ISSN 2631-2476. Disponible en: <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/62/95>

**OROZCO, L; et al.** “Physical, chemical and biological soil properties with biofertilization in apple orchards”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2016, (México) 34(4), pp. 14-14. [Consulta 15 Junio 2022] ISSN 23958030. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>

**OVIEDO, R; et al.** “Perspectivas de aplicación del compostaje de biorresiduos provenientes de residuos sólidos municipales. Un enfoque desde lo global a lo local”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2016, (México) 34(4), pp. 14-14. [Consulta 15 Junio 2022] ISSN 23958030. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>

**MARMOLEJO, L. y TORRES, P.,** 2012.. *Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea], vol. 11, no. 20, pp. 67-75. ISSN 16923324. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v11n20/v11n20a06.pdf>.

**PEREZ, J.** *Potasio Asimilable para las plantas* [en línea]. Ciudad de México-México: Instituto Politécnico Nacional-UPIBI, 2016. [Consulta 18 Junio 2022] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6201359.pdf>

**PIERRE, F; et al.** “Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Caspito municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara”. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) [en línea], 2009, (Venezuela) 21(2), pp. 03-05. [Consulta 07 Junio 2022] ISSN 13163361. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612009000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200004)

**QUINTERO, S. & CUERVO, Y.** Desarrollo de un producto derivado de la pulpa de café , obtenida de la finca cafetera las violetas de la vereda la uribe villahermosa , tolima, (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad de la salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Industrial. (Bogotá-Colombia). 2020. pp. 14-14. [Consulta: 2022-06-20]. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1137>

**REISER, M., & RUIZ, M.** *Guía informativa Proyecto de Apoyo a la NAMA Principios básicos del compostaje de pulpa de café* [en línea]. San Pedro-Costa Rica: Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2018. [Consulta 10 Junio 2022]. Disponible en: [https://namacafe.org/sites/default/files/documentos/20190613\\_manual\\_principios\\_basicos\\_compostaje\\_nspscafe.pdf](https://namacafe.org/sites/default/files/documentos/20190613_manual_principios_basicos_compostaje_nspscafe.pdf)

**RIVAS, M., & SILVA, R.** “Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (Eichhornia Crassipes)”. *Revista Ciencia UNEMI* [en línea], 2020, (Venezuela) 13(32), pp. 23-23. [Consulta 08 Junio 2022]. ISSN 2528-7737. Disponible en: <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1007/1015>.

**RUIZ, B.** El cambio de uso de suelo como afectación al derecho humano a un medio ambiente sano (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de derecho y ciencias sociales. (Córdoba-Argentina). 2019. pp. 16-18. [Consulta: 2022-05-29] Disponible en: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/1397](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1397).

**SANTIBAÑEZ, J; et al.** “An Optimal Planning for the Reuse of Municipal Solid Waste Considering Economic, Environmental and Safety Objectives”. *Computer Aided Chemical Engineering* [en línea], 2014, (United State of America) 33(2), pp. 1027-1032. [Consulta 29 mayo 2022] ISSN 1570-7946. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63455-9.50006-4>

**TORRES, C.** *Uso de pulpa de café en la elaboración de abonos para incrementar la productividad de café* [en línea]. Medellín-Colombia: Ciencia al Descubierto, 2011. [Consulta 16 Junio 2022]. Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1257.pdf>

**TORRES, G.** *Vermicompost Enfoque flexible. Naturland Internacionales* [en línea]. Berlín-Alemania: Naturland Internacionales, 2015. [Consulta 10 Junio 2022]. Disponible en: [https://www.naturland.de/images/01\\_naturland/\\_es/documentos/02\\_informaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica/06\\_2011\\_Vermikompost\\_Homepage\\_ES.pdf](https://www.naturland.de/images/01_naturland/_es/documentos/02_informaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica/06_2011_Vermikompost_Homepage_ES.pdf)

**VALENCIA, L., & IMBACUAN, E.** Alternativas para el Manejo del Residuo de Pulpa de café Mediante Proceso de compostaje en la Vereda el Bosque (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD - CEAD Palmira, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (Palmira-Colombia) 2021. pp. 18-49. [Consulta: 2022-05-10]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40282/eimbacuan.pdf>

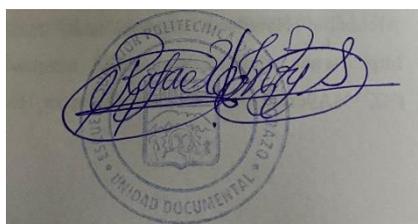
**VALVERDE, H; et al.** *Co-compostaje de residuos vegetales y estiércol. Efecto del sistema de aireación y del tipo de estiércol en la evolución del proceso y en la calidad de los compost obtenidos* [en línea. Valencia-España: Gestión integral de residuos orgánicos, 2018. [Consulta 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://research.umh.es/vivo/individual?uri=http%3A%2F%2Fresearch.umh.es%2Fvivo%2Fpub%2Fcongreso%2F121762>

**VANEGAZ, D.** *Aprovechamiento de residuos de café, mediante técnicas de compostaje y vermicompost. Ciencia del Suelo* [en línea]. Antioquía-Colombia : Atardecer, 2019. [Consulta 14 Junio 2022]. Disponible en: [https://www.acodal.org.co/60-congreso/memorias\\_60\\_congreso/2](https://www.acodal.org.co/60-congreso/memorias_60_congreso/2).

**VÁSQUEZ, M; et al.** *celeración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos* [en línea]. Medellín-Colombia: Nuevos horizontes, 2010. [Consulta 14 Junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/5e3c1e57-d4a7-479e-b0b2-0b48a4a10405>.

**VÁSQUEZ, M; et al.** “Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos”. Nova [en línea], 2010, (Colombia) 8(14), pp. 215-215. [Consulta 4 Junio 2022]. ISSN 1794-2470. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/24629448.452>

**ZURCAN, V.** “Estudio experimental en planta piloto del proceso de co-compostaje de residuos agroalimentarios”. Universidad de Montevideo [en línea], 2012, (Uruguay) 10(12), pp. 3-3. [Consulta 15 Junio 2022] ISSN 1510-7450. Disponible en: <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/246/305>



## ANEXOS

### ANEXO A: CAFÉ PROVENIENTE DE LA PARROQUIA SINAI



### ANEXO B: RECOLECCIÓN Y TRITURADO DE RESIDUOS

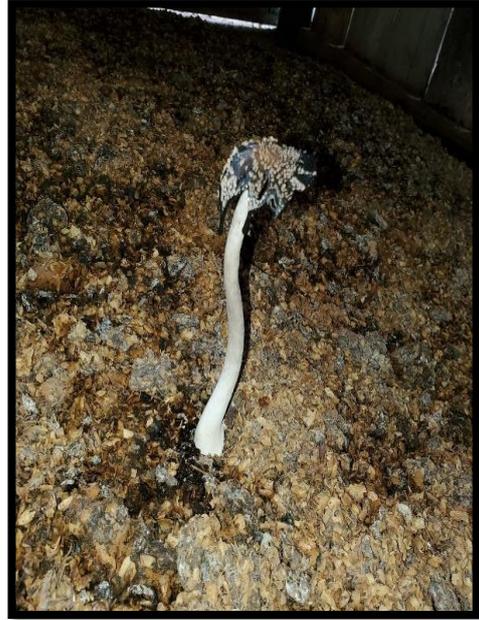


## ANEXO C: ARMADO DE PILAS



## ANEXO D: DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

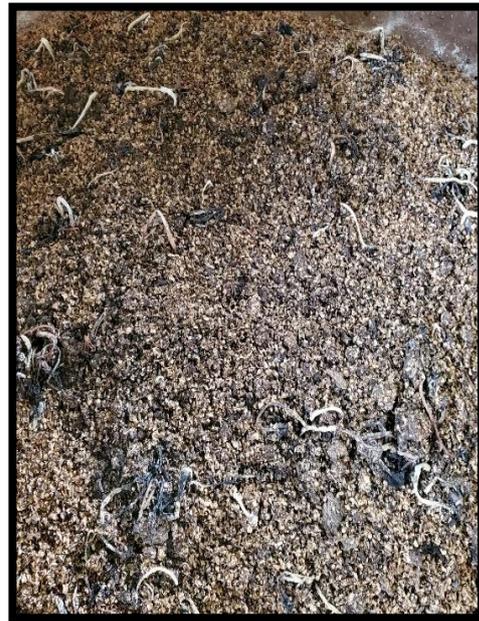




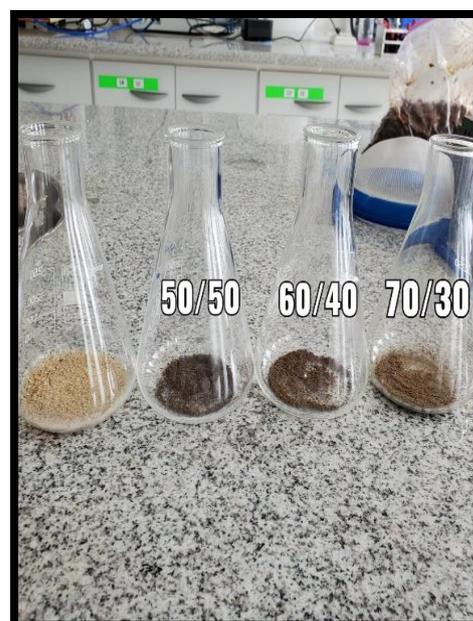
**ANEXO E: CONTROL Y TOMA DE DATOS**

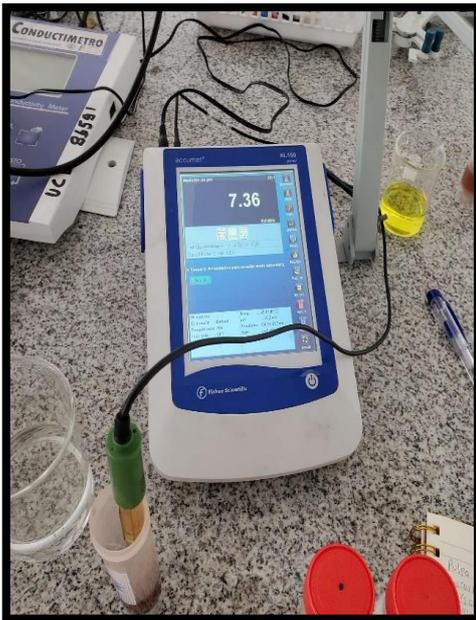
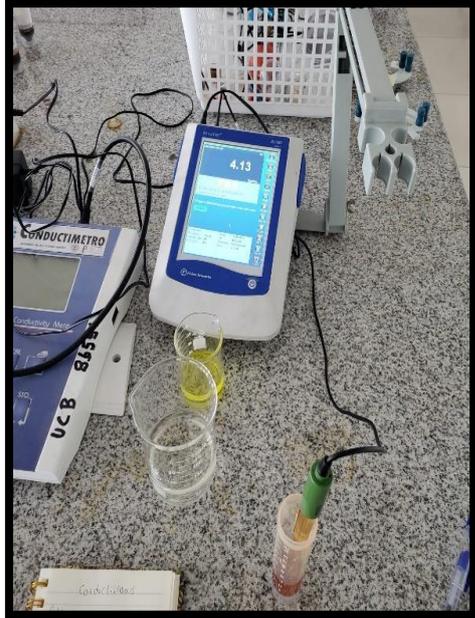


## ANEXO F: VOLTEO Y CONTROL DE LA FASE DE MADURACIÓN



## ANEXO G: ANÁLISIS EN EL LABORATORIO





**ANEXO H: ANÁLISIS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS ESPOCH RIOBAMBA**





epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 03 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Dennis Ezequiel Betancourt Garzón
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0484-DBRA-UPT-2023