



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

#### **CO-COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA CAÑICULTORA (BAGAZO DE CAÑA) DE LA PARROQUIA FACUNDO VELA, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA**

**RUDY LISBETH RAMOS FLORES**

Riobamba-Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**CO-COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA  
INDUSTRIA CAÑICULTORA (BAGAZO DE CAÑA) DE LA  
PARROQUIA FACUNDO VELA, CANTÓN GUARANDA,  
PROVINCIA DE BOLÍVAR**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: RUDY LISBETH RAMOS FLORES**

**DIRECTORA: LOURDES JANNETH JARA SAMANIEGO Ph. D**

Riobamba-Ecuador

2021

**© 2021, Rudy Lisbeth Ramos Flores**

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

Yo, Rudy Lisbeth Ramos Flores, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo 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 titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de marzo de 2021

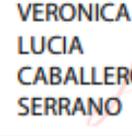
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rudy Lisbeth Ramos Flores', with a stylized flourish underneath.

**Rudy Lisbeth Ramos Flores**

**CI: 180494967-3**

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

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“CO-COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA CAÑICULTORA (BAGAZO DE CAÑA) DE LA PARROQUIA FACUNDO VELA, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR”**, realizado por la señorita: RUDY LISBETH RAMOS FLORES, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, 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. Juan Carlos González García, Ph. D <b>PRESIDENTE DE TRIBUNAL</b>	 Firmado digitalmente por: <b>JUAN CARLOS GONZALEZ GARCIA</b>	31/03/2021
Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego, Ph. D <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado digitalmente por LOURDES JANNETH JARA SAMANIEGO	31/03/2021
Dra. Verónica Lucía Caballero Serrano, Ph. D <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 VERONICA LUCIA CABALLERO SERRANO Firmado digitalmente por VERONICA LUCIA CABALLERO SERRANO Fecha: 2021.06.18 16:34:17 -05'00'	31/03/2021

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a mis padres Guido y Maritza quienes han estado conmigo en cada etapa de mi vida apoyándome y motivándome a ser mejor cada día, a enseñarme que no debo rendirme a pesar de las circunstancias que en la vida se me presente.

A mis hijos Daniel y Brianna quienes son mi más grande motivación y orgullo por los cuales no me rendiré nunca, ya que su madre es lo que es por y para ustedes mis pequeños.

A mi esposo Brayan, por estar presente en muchos momentos de mi vida y ser apoyo en la misma.

A mi hermano Guido por ayudarme en todo lo que ha podido, el cual deseo que se supere y sea un hombre de bien.

A mis abuelitos y tíos Marlon y Jairo quienes siempre han estado pendiente de mí y de una u otra forma me han apoyado para que sea una profesional.

**Rudy R.**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por brindarme la vida y darme una excelente familia, que son mi guía y fortaleza en todo momento.

A mi padre y madre por haberme apoyado siempre y educado, enseñarme que no hay mayor satisfacción que conseguir cada cosa por mérito propio y que lo valorarás porque te costó conseguirlo.

A mi ñaño que juntos somos el orgullo de nuestros padres por ser buenos hijos.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por acogerme y formarme como profesional y persona, principalmente a la Escuela de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería En Biotecnología Ambiental, a sus catedráticos quienes compartieron de sus conocimientos para ser una profesional de éxito.

A mi directora de trabajo de titulación por ser una gran mujer, maestra, amiga y persona, y haberme brindado sus conocimientos y tiempo para poder desarrollar este trabajo de titulación, muchas gracias, Dra. Janneth J.

A mi asesora la Ing. Verónica Caballero por cada conocimiento y aporte a la culminación de este trabajo de titulación.

A todos mis amigos que de alguna forma han sido parte de esta etapa, en especial a mi amig@s Jessy, Klever y Verónica quienes me han ayudado incondicionalmente en todo este proceso y quienes tendrán en mi un apoyo incondicional.

**Rudy R.**

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Planteamiento del problema.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2. Justificación de la Investigación.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3. Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II.....	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	¡Error! Marcador no definido.

<b>2.1. Antecedentes</b>	
.....	¡Error!
<b>Marcador no definido.</b>	
<b>2.2. Residuos</b>	<b>sólidos</b>
.....	¡Error! Marcador
<b>no definido.</b>	
<b>2.2.1. Residuos</b>	<b>agrícolas</b>
.....	¡Error! Marcador no
<i>definido.</i>	
<b>2.2.1.1. Características</b>	<b>de los residuos agrícolas</b>
.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>2.3. Caña de azúcar</b>	.....6
<b>2.3.1. Bagazo</b>	<b>de caña</b>
.....	¡Error! Marcador
<i>no definido.</i>	
<b>2.4. Tratamiento</b>	<b>de residuos sólidos</b>
.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>2.4.1. Compostaje</b>	
.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>	
<b>2.4.2. Co-compostaje</b>	
.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>	
<b>2.5. Condiciones</b>	<b>para el</b>
<b>compostaje</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2.5.1. Temperatura</b>	
.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>	
<b>2.5.2. Aireación</b>	
.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>	
<b>2.5.3. Humedad</b>	
.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>	

<b>2.6. Etapas del compostaje.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.6.1. <i>Etapa mesófila</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.6.2. <i>Etapa termófila</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.6.3. <i>Etapa de maduración</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7. <i>Parámetros de calidad del compost</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.1. <i>Conductividad eléctrica</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.2. <i>Potencial de hidrógeno</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.3. <i>Relación C/N</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.4. <i>Macronutrientes</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.4.1. <i>Nitrógeno</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.4.2. <i>Fósforo</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.7.4.3. <i>Potasio</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.8. <i>Parámetros biológicos</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.8.1. <i>Índice de germinación (IG)</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>2.9. Efectos de la generación de residuos sólidos.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.9.1. <i>Calentamiento</i> .....	<i>global ¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>2.10. Marco legal.....</b>	<b>14</b>
2.10.1. <i>Normativa</i> .....	<i>general ¡Error! Marcador no definido.</i>
2.10.1.1. <i>Constitución política de la República del Ecuador</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.11. <i>Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.12. <i>Acuerdo ministerial 140</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>17</b>

### 3. MARCO

**METODOLÓGICO.....**¡Error! Marcador no definido.

**3.1. Descripción del lugar.....**¡Error! Marcador no definido.

**3.1.1. Datos generales de la parroquia Facundo Vela .....**¡Error! Marcador no definido.

**3.1.2. Datos generales del cantón Riobamba .....**¡Error! Marcador no definido.

**3.1.3. Datos generales de la ESPOCH .....**¡Error! Marcador no definido.

**3.1.3.1 Lugar experimental .....**¡Error! Marcador no definido.

**3.2. Parte experimental.....**¡Error! Marcador no definido.

**3.2.1. Selección de la muestra .....**¡Error! Marcador no definido.

**3.2.2. Materiales y equipos .....**¡Error! Marcador no definido.

**3.3. Tratamientos .....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.4. Preparación de los microorganismos de montaña.....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.4.1. Materiales .....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.4.2. Procedimiento.....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.5. Elaboración del compost .....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.5.1. Obtención de los componentes para la elaboración del compost.¡Error! Marcador no definido.**

**3.5.2. Montaje de las pilas.....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.5.3. Control de la temperatura, humedad y aireación .....** ¡Error! Marcador no definido.

**3.5.4. Toma de muestras y tiempo de elaboración del compost.¡Error! Marcador no definido.**

**3.6. Análisis físicos, fisicoquímicos, químicos y biológicos...¡Error! Marcador no definido.**

**CAPÍTULO IV.....28**

**4. RESULTADOS Y**

**DISCUSIÓN.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.1. Caracterización de las muestras iniciales.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2. Parámetros analizados.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2.1. Parámetros de control del proceso.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2.1.1. Temperatura.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2.1.2. Potencial de hidrógeno (pH).....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2.1.3. Conductividad eléctrica (CE).....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2.1.4. Materia orgánica.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.2.1.5. Relación carbono/nitrógeno (C/N).....¡Error! Marcador no definido.**

**4.3. Caracterización química de los tratamientos.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.3.1. Contenido de macronutrientes.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.4. Caracterización biológica de los tratamientos.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.4.1. Prueba de fitotoxicidad.....¡Error! Marcador no definido.**

**4.5. Caracterización física de los tratamientos.....**¡Error! Marcador no definido.

**4.5.1. Color**  
.....¡Error!

*Marcador no definido.*

**4.5.2. Olor**  
.....¡Error!

*Marcador no definido.*

**CONCLUSIONES.....39**

**RECOMENDACIONES.....40**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Porcentajes de Índice de Germinación.....	13
<b>Tabla 1-3:</b>	Datos Generales de la Parroquia Facundo Vela.....	17
<b>Tabla 2-3:</b>	Datos Generales del Cantón Riobamba.....	19
<b>Tabla 3-3:</b>	Localización del Centro de Acopio de Residuos Sólidos- ESPOCH.....	20
<b>Tabla 4-3:</b>	Ubicación Geográfica del Centro de Acopio de Residuos Sólidos-ESPOCH.....	21
<b>Tabla 5-3:</b>	Materiales y equipos para la elaboración del compostaje.....	23
<b>Tabla 6-3:</b>	Montaje de las pilas .....	24
<b>Tabla 7-3:</b>	Análisis realizados en la Facultad de Ciencias .....	28
<b>Tabla 1-4:</b>	Caracterización de las muestras iniciales.....	29
<b>Tabla 2-4:</b>	Contenido de N, P y K.....	34
<b>Tabla 3-4:</b>	Índice de Germinación.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3:</b>	Mapa de la ubicación de la Parroquia Facundo Vela.....	18
<b>Figura 2-3:</b>	Mapa de la ciudad de Riobamba.....	20
<b>Figura 3-3:</b>	Mapa de ubicación del Centro de Acopio-ESPOCH.....	22

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Etapas del compostaje.....	9
<b>Gráfico 1-4:</b>	Variación de la temperatura.....	31
<b>Gráfico 2-4:</b>	Variación de pH.....	32
<b>Gráfico 3-4:</b>	Variación de la conductividad eléctrica.....	33
<b>Gráfico 4-4:</b>	Variación de materia orgánica.....	34
<b>Gráfico 5-4:</b>	Índice de germinación de los tratamientos.....	35
<b>Gráfico 6-4:</b>	Análisis de componentes principales (PCA) de los tratamientos en el día 0.....	36
<b>Gráfico 7-4:</b>	Análisis de componentes principales (PCA) de los tratamientos en el día 182.....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Parámetros analizados durante el proceso de elaboración del compost
- ANEXO B:** Recolección de los residuos para la elaboración del compostaje
- ANEXO C:** Análisis iniciales para conocer la relación C/N del Bagazo de Caña
- ANEXO D:** Armado de las pilas de compostaje
- ANEXO E:** Control de temperatura, humedad, pH, volteo y toma de muestras de las pilas
- ANEXO F:** Preparación de Microorganismos de montaña en medio líquido
- ANEXO G:** Preparación de las muestras a ser analizadas
- ANEXO H:** Medición de parámetros en los laboratorios
- ANEXO I:** Índice de Germinación
- ANEXO J:** Fase final de los tratamientos
- ANEXO K:** Análisis de C/N (Bagazo de Caña)
- ANEXO L:** Análisis Químicos (Kit N, P, K. La Motte) Digestión ácida-Espectrofotometría  
Digestión Ácida (Ácido Sulfúrico Concentrado)
- ANEXO M:** Técnica para la Determinación de Materia Orgánica
- ANEXO N:** Técnica para la Determinación de pH y Conductividad eléctrica
- ANEXO Ñ:** Técnica para la Determinación de Índice de Germinación
- ANEXO O:** Técnica para la Determinación nitrógeno y carbono
- ANEXO P:** Técnica para análisis de macronutrientes N, P. K

## RESUMEN

El presente trabajo técnico tuvo como objetivo la elaboración de compost a partir de los residuos (bagazo de caña) generados en la industria cañicultora de la parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar en mezcla con residuos vegetales de mercado y estiércol de conejo. Con estos residuos se formaron tres pilas de compostaje: Pila 1: 500Kg de bagazo de caña y 500Kg de residuos vegetales de mercado; Pila 2: 400Kg de bagazo de caña, 800Kg de residuos vegetales de mercado y 200Kg de estiércol de conejo; Pila 3: 350Kg de bagazo de caña y 700kg de residuos vegetales de mercado en cada pila se adicionó microorganismos de montaña. Durante el proceso se controló la temperatura, humedad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y la aireación. Los volteos fueron manuales y se realizó en función de la temperatura. La fase oxidativa duró alrededor de 180 días y la fase de maduración un lapso de 30 días. La toma de muestras se realizó en cada volteo. Los parámetros analizados con sus respectivos resultados fueron: pH; Pila 1 (6,8), Pila 2(6,5) y Pila3 (6,7) , Conductividad Eléctrica ( $dSm^{-1}$ ) en la Pila1 (5,0), Pila 2 (6,3), Pila 3 (5,1), Materia Orgánica en la Pila 1(51%) , Pila 2(50,75%), Pila 3 (52,57%); en el Índice de Germinación (IG) el de mayor porcentaje fue la pila 2 (>100%), seguido de la pila 3 (98,93%) y la pila 1 (82,63%), con lo que se concluye que los compost obtenidos cumplen los parámetros establecidos en la legislación española para abonos orgánicos lo que permite recomendar dicho producto como adecuado para un uso en el sector agrícola y afines.

**Palabras clave:**<RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS> <BIOTECNOLOGÍA> <ABONOS ORGÁNICOS> <CO-COMPOSTAJE>, <COMPOST>,



Firmado digitalmente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0457-DBRAI-UPT-2020  
2020-11-24

## ABSTRACT

The purpose of the current technical research was to produce compost from waste (sugarcane bagasse) generated in the sugarcane industry of Facundo Vela Parish, Guaranda County, Bolivar Province, this process results from the mixture of vegetable waste and rabbit manure. With this waste, three compost piles were obtained: Pile 1 contained 500Kg of sugarcane bagasse and 500Kg of vegetable waste; Pile 2, 400Kg of sugarcane bagasse, 800Kg of vegetable waste and 200Kg of rabbit manure; Pile 3: 350Kg of sugarcane bagasse and 700kg of vegetable waste; in addition, some mountain microorganisms were added in each pile. During the process, some parameters like temperature, humidity, pH, organic matter, electrical conductivity and ventilation were monitored. The turning process was manual and it was carried out according to the temperature. The oxidative stage lasted around 180 days and the maturation phase 30 days. The sampling was carried out during each turning process. The parameters analyzed with their respective results were: pH; Pile 1 (6.8), Pile 2 (6.5) and Pile 3 (6.7), Electrical Conductivity (dSm-1) in Pile 1 (5.0), Pile 2 (6.3), Pile 3 (5.1), Organic Matter in Pile 1 (51%), Pile 2 (50.75%), Pile 3 (52.57%); In the Germination Index (GI), the highest percentage was obtained in pile 2 (> 100%), followed by pile 3 (98.93%) and finally pile 1 (82.63%); thus, it is concluded that the compost obtained meets the parameters established in the Spanish legislation for organic fertilizers, this bibliography supports the information obtained, and allows recommending the product since its use is suitable for the agricultural and related sectors.

Keywords: <ORGANIC SOLID WASTE> <BIOTECHNOLOGY> <ORGANIC FERTILIZERS> <CO-COMPOST> <COMPOST>

## INTRODUCCIÓN

Los residuos agrícolas al ser almacenados inapropiadamente ocasionan graves problemas, ya que forma un entorno de vectores (moscas, ratones, serpientes) emisores de enfermedades, causando malos olores y promoviendo la contaminación, por tal razón, es necesario poner en marcha una adecuada gestión y manejo de estos residuos (Cabrera, 2006, pp. 77-78).

En la parroquia Facundo Vela, localizada en la provincia de Bolívar, se destinan unas 2 000 hectáreas a la siembra de la caña de azúcar *Saccharum Officinarum* (GADPFV, 2015) para la preparación principalmente, de panela y aguardiente. El bagazo que queda es un residuo rico en celulosa, lignina y hemicelulosa y su baja velocidad de descomposición se ha atribuido a la deficiencia de N y a la presencia de constituyentes recalcitrantes en los vegetales (Hernández, 1986).

Este proyecto técnico, tuvo como finalidad elaborar un abono orgánico (compost) aprovechando el bagazo de caña de azúcar en mezcla con otros residuos orgánicos. Se consideró al compostaje como una opción viable, pues permite transformar grandes cantidades de residuos orgánicos en un abono orgánico apto para su uso en labores agrícolas. Su tecnología relativamente sencilla y los bajos costos asociados hacen posible su elaboración en el campo y en los mismos lugares donde se generan los residuos.

La Técnica del compostaje consiste en una mezcla de materia orgánica en fase de descomposición en condiciones aeróbicas que busca el mejoramiento de la estructura del suelo y la incorporación de nutrientes; este procedimiento permite la estabilización de los sustratos orgánicos bajo algunas circunstancias que permitan la generación de energía calorífica gracias a la acción microbiana presente. Se obtiene un producto estabilizado y libre de sustancias tóxicas aprovechables y listas para un posterior uso en agricultura (Campos et al. 2004, pp.1-3). La duración de este proceso varía entre tres y seis meses (Chávez y Rodríguez, 2016, pp. 100-103). En el presente experimento se trabajó con tres tratamientos en los que se emplearon diferentes residuos orgánicos enriquecidos con microorganismos de montaña, necesarios para la generación de un producto de igual o mejor relación a la calidad en nutrientes.

## CÁPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento del problema

El azúcar es uno de los productos básicos más importantes que se comercializan en el mercado internacional. El valor de su comercio anual mundial es de más de 24 000 millones de USD y más del 80 % corresponde a los países en desarrollo (FAO, 2012). La mayor cantidad de azúcar se obtiene a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); su producción mundial es de  $1,333 \times 10^6$  t/año, siendo los mayores productores Brasil e India con el 29 y 21,7% respectivamente. En Ecuador se pueden encontrar grandes plantaciones de caña de azúcar en zonas tropicales y subtropicales (Montaño, 2009). El bagazo de caña, que se genera en el proceso de molienda, es el residuo que se obtiene en mayor porcentaje en los procesos de obtención de azúcar, aguardiente y panela. En la parroquia Facundo Vela, como resultado de la actividad cañicultora, se producen 1,50 ton/día de bagazo de caña tanto en su recolección como en el procesamiento (GADPFV, 2015). Su acumulación, debido al tiempo prolongado de descomposición y al volumen que ocupa en cada una de las fincas existentes en el lugar, constituye un serio problema. Aunque una parte del bagazo se utiliza como combustible en los procesos de elaboración de aguardiente, una práctica común, como una forma de eliminación de estos residuos, es la quema al aire libre. Esto provoca contaminación del ambiental debido a la emisión de gases efecto invernadero. Por esta razón se precisa buscar alternativas amigables con el ambiente para el aprovechamiento de este residuo. El compostaje, en mezcla con otros residuos, se presenta como una opción válida, viable y sostenible.

#### 1.2. Justificación de la Investigación

En Ecuador, las plantaciones de caña de azúcar superan las 82 000 hectáreas, de éstas, el 50% pertenece a los ingenios y el otro 50% se reparte entre los 3 000 pequeños y medianos productores (Pincay, 2007, p.14-17). La variedad *Saccharum Officinarum*, es la que se cultiva en mayor escala y es empleada en la producción de azúcar de mesa, panela y aguardiente (guarapo). El residuo que se genera en mayor cantidad es el bagazo (Pincay, 2007, p.14-17).

En la parroquia Facundo Vela, localizada en la provincia de Bolívar, se destinan unas 2 000 hectáreas a la siembra de este cultivo (GADPFV, 2015). A partir de la caña de azúcar se obtiene principalmente, panela y aguardiente. El bagazo que queda después de la extracción del jugo de

la caña, no es sometido a ningún tratamiento y se amontona o se dispone en los terrenos provocando contaminación por la presencia de vectores (moscas, ratones, serpientes). Su baja densidad y degradabilidad agrava esta problemática.

El compostaje se presenta como una alternativa viable para el tratamiento de este tipo de residuo agroindustrial, ya que es una práctica ampliamente aceptada como sostenible y utilizada en todos los sistemas asociados a la agricultura climáticamente inteligente. Ofrece un enorme potencial para todos los tamaños de fincas y sistemas agroecológicos y combina la protección del medio ambiente con una producción agrícola sostenible (Román et al., 2013).

El compost obtenido, adicionado al suelo, actúa de forma indirecta y lenta, con la ventaja del mejoramiento de su textura y estructura y el incremento de su capacidad de retención de nutrientes, liberándolos progresivamente en la medida que la planta los demande (FUNDACIÓN MCCH, 2009). El compost a más de proteger el suelo, garantiza productos más sanos por la disminución del uso de pesticidas y abonos químicos.

Con esta investigación se busca compostar el bagazo de caña, al momento dispuesto inadecuadamente, para obtener un abono orgánico (compost) que ayude a mejorar y mantener la capacidad productiva del suelo de la parroquia Facundo Vela.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### *1.3.1. Objetivo general*

- Producir compost a partir de los residuos generados por la industria cañicultora (bagazo de caña) de la parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar.

#### *1.3.2. Objetivos específicos*

- Realizar la caracterización fisicoquímica, química y biológica de los residuos de bagazo de caña.
- Diseñar 3 pilas para la obtención de compost a partir de bagazo de caña y microorganismos eficientes (EM's), bajo condiciones controladas.
- Establecer la calidad del compost obtenido.

## **CAPÍTULO II**

### **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Antecedentes**

El aumento poblacional junto con la escasa educación ambiental y un mal manejo de los residuos sólidos genera en Ecuador alrededor de 0,82Kg/hab día de residuos; la composición de los residuos está representada en un 60% por materia orgánica (MO) y el 40% restante corresponde a papel, cartón, metales, textiles, residuos peligrosos y material no reciclable (Fondo Nacional del Ambiente, 2020).

Según Domínguez et al (2003), la paja de caña (bagazo) es un agente beneficioso para el hombre, si se usa correctamente en algunas de las siguientes formas:

1. Como fertilizante para los suelos o como capa para cubrir los mismos para evitar el crecimiento de malas hierbas en las áreas de producción de la caña de azúcar.
2. Como combustible en la industria para generar electricidad o para la limpieza de los equipos al finalizar la cosecha.

La utilización de los desechos orgánicos y los residuos vegetales en la agricultura es de gran importancia por el beneficio que ello reporta al suelo y a las plantas (Vento et al, 2004). En el Ecuador, se cultivan alrededor de 79 913 ha de caña de azúcar, dentro del que se estima una producción anual de 158 000 t de bagazo (Marmol and Liviapoma, 2014, p.9). Debido a esto, se ha visto la necesidad de aprovechar el bagazo para fines agrícolas, por lo que los procesos de compostaje son la clave para obtener abonos orgánicos con características importantes para mejorar la calidad de suelos y los cultivos, así lo han reportado varias investigaciones (Franca et al., 2016; Prado et al., 2013; Stoffella and Graetz, 2000).

#### **2.2. Residuos sólidos**

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, los define como cualquier residuo proveniente de plantas de tratamiento de agua, contaminación del aire o empresas de servicio que generan material descartable debido a las actividades industriales, agrícolas o comerciales que se

desarrollan, se caracterizan principalmente por tener el potencial para reutilizarse o transformarse mediante tratamientos adecuados (Environmental Protection Agency, 2017; Fondo Nacional del Ambiente, 2020).

### **2.2.1. Residuos agrícolas**

Son residuos que se generan del cultivo de diferentes vegetales, especialmente en la cosecha y que no son utilizadas para el consumo humano, este tipo de residuos incluye, tallos, cáscaras, cortezas, rastrojos y hojas. Al ser la agricultura una de las actividades más realizadas a nivel mundial, estos residuos son producidos en grandes cantidades (Carchi, 2014, p.13).

#### **2.2.1.1. Características de los residuos agrícolas**

Son residuos orgánicos que presentan humedad variable dependiendo del cultivo y las condiciones a las que están expuestos, poseen una fracción orgánica superior a la fracción mineral por lo que el contenido de carbono es elevado comparado con el nitrógeno presente. De las características más importantes es la cantidad de azúcares asimilables que exista, pues de esto dependerá la acción degradadora de los microorganismos (Torres, 2017, p.12).

### **2.3. Caña de azúcar**

Planta de tallo leñoso, hueco, flexible, de hojas anchas, algo ásperas y flores agrupadas en panojas muy ramosas; puede alcanzar hasta 4 m de altura "la caña crece en parajes húmedos"(FAO, 2012). Debido a la gran cantidad de lignocelulosa (aproximadamente el 60% de la materia seca), es importante conocer el proceso de degradación del bagazo, porque las reacciones implicadas proporcionan carbono rápidamente disponible para el crecimiento de microorganismos del suelo (Deng et al., 1994, p.15).

#### **2.3.1. Bagazo de caña**

Es un residuo rico en celulosa, lignina y hemicelulosa (Hernández, 1986). Su baja velocidad de descomposición se ha atribuido a la deficiencia de N y a la presencia de constituyentes recalcitrantes en los vegetales (Hernández, 1986).

## **2.4. Tratamiento de residuos sólidos**

Para Ochoa (2009), el manejo de los residuos comprende todas las actividades relacionadas con su manipulación, desde el lugar de generación hasta la disposición final de los mismos, siguiendo técnicas adecuadas que permitan la convivencia adecuada con el ambiente. El tratamiento de residuos sólidos es un problema en las grandes ciudades; las etapas de un tratamiento adecuado incluyen la generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final, sin embargo en América Latina el esquema de tratamiento se basa en la recolección y disposición final (Sáez, Urdaneta and Joheni, 2014, p.122).

### **2.4.1. Compostaje**

Compostaje es una mezcla de materia orgánica en fase de descomposición en condiciones aeróbicas que busca el mejoramiento de la estructura del suelo y la incorporación de nutrientes; este procedimiento permite la estabilización de los sustratos orgánicos bajo algunas condiciones que permitan la generación de energía calorífica gracias a la acción microbiana presente. Se obtiene un producto estabilizado y libre de sustancias tóxicas (Campos et al. 2004, pp.1-3).

El compostaje y aplicación de residuos sólidos agrícolas en suelos, está ganado popularidad debido a los beneficios ambientales que representan especialmente por los efectos que se generan en la disponibilidad de fósforo en el suelo y la fijación del mismo por las plantas y microorganismos autóctonos (Mkhabela and Warman, 2005, p.58 ).

### **2.4.2. Co-compostaje**

Es la degradación de la materia orgánica gracias a la acción de microorganismos aeróbicos usando más de un tipo de materia prima, es decir, se utiliza diferentes tipos de material que permitan el incremento de las interacciones microbianas y mejoren la calidad del compost obtenido. A su vez es una mezcla de residuos para lograr una óptima relación C/N y una estructura adecuada (Tilley et al, 2016).

Algunos de los residuos sólidos utilizados en esta metodología pueden ser ricos en nitrógeno mientras que otro tipo de residuo puede aportar gran cantidad de carbono orgánico, al juntarlos permitirán obtener compost de gran calidad con características fertilizantes elevadas así como también se puede optimizar el proceso (Tilley et al, 2016).

## **2.5. Condiciones para el compostaje**

Los microorganismos son los responsables de todo el proceso de descomposición de la materia orgánica, por lo que es necesario monitorear su actividad, garantizando las condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxígeno para la correcta degradación de los residuos orgánicos.

### ***2.5.1. Temperatura***

El proceso de degradación es una reacción exotérmica, cuya presencia es un indicador de las interacciones microbianas presentes, debido a que la actividad biológica es la causante de la generación de calor, en la primera fase, las altas temperaturas indican la presencia de materia orgánica, pues, ésta contiene energía almacenada que se libera cuando la molécula es transformada en sustancias más sencillas.

El control de la temperatura juega un papel importante en el proceso de compostaje, por lo que es necesario controlarlo; temperaturas de 35-40°C permite la diversificación microbiana, mientras que la degradación máxima de los sustratos se logra entre 45-55°C y la higienización cuando la temperatura es superior a los 55°C (Barrena, 2006, pp.21-22).

### ***2.5.2. Aireación***

Al ser un proceso aeróbico, la aireación juega un papel fundamental, pues, los microorganismos consumirán el oxígeno disponible durante la degradación del material, mantener las condiciones aeróbicas garantizará que las funciones metabólicas microbianas sean eficientes, además, que permite regular el exceso de humedad y mantener una temperatura adecuada (Barrena, 2006, p.22).

La ventilación puede realizarse mediante el uso de sistemas de aireación o volteo manual, el procedimiento debe garantizar el mantenimiento de las condiciones de las pilas. Un exceso de oxigenación puede favorecer al enfriamiento de la pila, pérdida de humedad y la generaciones de vapores orgánicos, por lo que lo recomendable es mantener una oxigenación del 5 al 7% en la matriz del residuo (Barrena, 2006, pp.22-23).

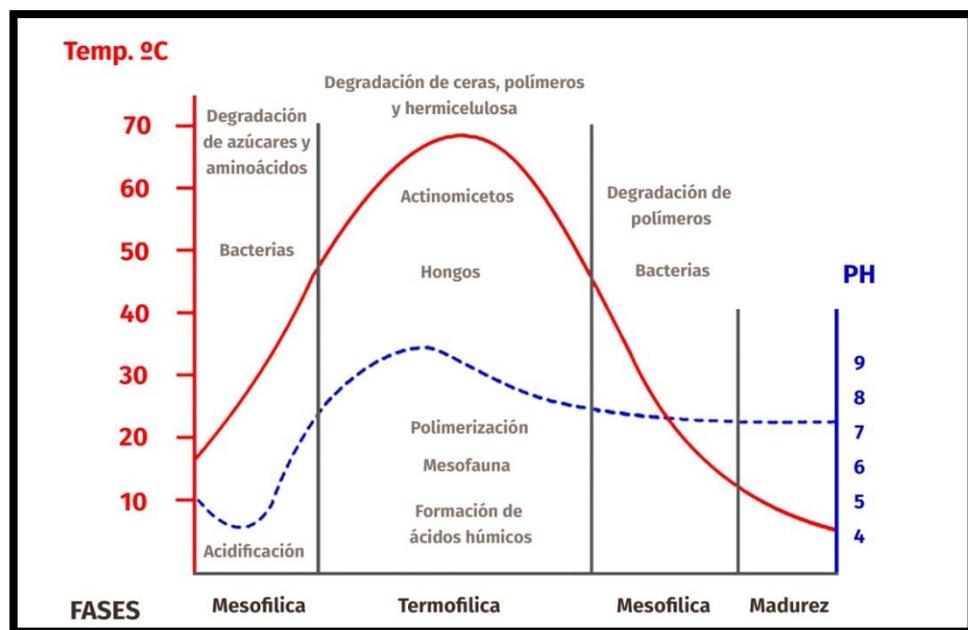
### 2.5.3. *Humedad*

El proceso de compostaje es un proceso de degradación donde el contenido de agua disponible juega un papel fundamental en el metabolismo de los microorganismos, además el agua actúa como medio de transporte para los productos de desecho que se generan en el proceso.

Al inicio del proceso, el contenido de humedad óptimo tiene un rango del 50 al 70%, mayores cantidades de agua dificulta la oxigenación de las pilas, mientras que cantidades inferiores puede inhibir el crecimiento microbiano (Villar, 2017, p.11).

### 2.6. **Etapas del compostaje**

El compostaje realizado de manera tradicional, con el uso de pilas sin ayuda de biorreactores, permite evidenciar dos fases en cuanto a los cambios de temperatura que se presentan en los residuos, en la figura 1-2 se observa los cambios en pH y temperatura durante el proceso de compostaje.



**Grafico 1-2:** Etapas del compostaje

Fuente: Vilas (2005)

#### 2.6.1. *Etapa mesófila*

Es la primera etapa del compostaje en la que los microorganismos inician la degradación de los azúcares y aminoácidos presentes en los residuos, esta degradación ocurre a temperaturas menores

de 40°C, durante esta etapa los microorganismos se adaptan a las condiciones que se presentan (EPAS, 2015, p.8).

### ***2.6.2. Etapa termófila***

Se caracteriza por la descomposición de la materia orgánica. Los microorganismos empiezan a consumir todos los elementos oxidables, por lo que la temperatura empieza a elevarse, las altas temperaturas dependerán del tipo de sustrato con el que se trabaja y de las condiciones ambientales.

La temperatura en esta fase puede alcanzar los 55°C, lo que permite el saneado del producto, es decir, la eliminación de microorganismos patógenos de las pilas de compostaje, además se logra la desactivación de las semillas de la maleza presente. En esta etapa es necesario considerar que la temperatura no sobrepase los 70°C, debido a que esta temperatura puede eliminar a los microorganismos benéficos, además, en esta etapa los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco causando el aumento del pH del medio (Docampo, 2013, p.63; Fallas, 2016, p.4).

### ***2.6.3. Etapa de maduración***

Se la conoce también como etapa de curada, puede durar entre uno y cuatro meses. Los compuestos fáciles de degradar fueron metabolizados en la primera etapa; en la segunda, se degradan las moléculas orgánicas más complejas. En la etapa de maduración, la temperatura desciende y la descomposición es realizada por microorganismos mesófilos, debido a los cambios de temperatura se puede establecer la eficiencia y la estabilidad del proceso, ya que la temperatura está relacionada directamente con la degradación de la materia orgánica (Docampo, 2013, p.65, p.63; Fallas, 2016, p.4).

## **2.7. Parámetros de calidad del compost**

Un compost de buena calidad se caracteriza por la incorporación de oxígeno durante sus diferentes etapas y temperaturas adecuadas que ayudan a la descomposición total de la materia orgánica y la eliminación de organismos patógenos (Lasaridi and Stentiford, 1998, p.37-17).

Los criterios de calidad del compost incluyen una variedad de parámetros como la Conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N), concentración de nutrientes (N, P, K), el Índice de germinación (IG), la reducción de patógenos; parámetros que están relacionados con la estabilidad y madurez del compost.

### **2.7.1. Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es un parámetro que permite determinar la mineralización de los residuos, este factor tiende a incrementarse durante el proceso de compostaje lo que está directamente relacionado con el aumento de los nutrientes presentes. Los valores adecuados de conductividad eléctrica al final del proceso deben ser inferior de  $6\text{dSm}^{-1}$  de acuerdo a la legislación de la normativa española (BOE, 2013).

### **2.7.2. Potencial de hidrógeno**

El pH es uno de los parámetros más importantes en el proceso del compostaje ya que valores menores a 3 y mayores a 11 evitarán el desarrollo de la microbiota que permite la degradación de la materia orgánica (Villar, 2017, p.15).

El pH es utilizado como un indicador en la evolución del proceso de compostaje. Al inicio del proceso, la presencia de pH ácidos indican la degradación de polisacáridos, la síntesis de ácidos orgánicos y la liberación de iones hidroxilo, mientras que pH bajos, permiten establecer la degradación de ácidos orgánicos y la volatilización del amonio; al finalizar el procedimiento el rango óptimo de pH que indica la formación de compuestos húmicos con efecto tampón se encuentra en el rango de 6 a 7 (Villar, 2017, p.15).

### **2.7.3. Relación C/N**

La gran mayoría de microorganismos para el correcto funcionamiento de su metabolismo utilizan 30 partes de carbono (fuente de energía) por cada unidad de nitrógeno, elemento esencial para la síntesis de algunas biomoléculas (Villar, 2017, p.12).

La relación de C/N variará dependiendo del residuo a utilizarse, los residuos agrícolas contienen altas cantidades de carbono lo que implica una reducción en la tasa metabólica de los microorganismos por la falta de nitrógeno presente (López-Clemente et al. 2015, pp.147-149).

Según Román et al., (2013), existe una reducción continua de la relación C/N durante todo el proceso de compostaje. Si la relación inicial es mayor a 35:1, la cantidad de carbono es muy alta por lo que el proceso puede ralentizarse, mientras que si la relación es menor a 15:1 habrá

generación de malos olores debido al amoníaco que se libera. Al finalizar el proceso, la relación C/N baja debido a la descomposición de la materia orgánica.

#### **2.7.4. Macronutrientes**

Son nutrientes que se encuentran en el suelo y que las plantas necesitan para desarrollarse. Su adición en suelos pobres es necesaria.

##### *2.7.4.1. Nitrógeno*

Es el macronutriente de mayor importancia porque de éste depende el crecimiento de la planta, representa al 4% del peso seco de las plantas y es absorbido en forma de nitrato o de amonio. La combinación de este elemento con el metabolismo bacteriano de carbohidratos permite la síntesis de proteínas y aminoácidos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015, p.8).

El nitrógeno es el principal promotor en el crecimiento vegetal, además ayuda al proceso de fotosíntesis realizado por la plantas y a la síntesis de clorofila, la ausencia o baja disponibilidad de nutrientes dificulta la fijación biológica del nitrógeno (Ramírez et al. 2018, p.32). Los porcentajes de N deben ir de 0,4% a 3,5% para ser considerado un compost con valores de calidad óptimos (FAO et al., 1991).

##### *2.7.4.2. Fósforo*

Representa entre el 0,1 y 0,4% del peso seco de la planta, juega un papel fundamental en los procesos químicos-fisiológicos de las plantas, es el encargado de la diferenciación de las células para el desarrollo de los diferentes tejidos vegetales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015, p.8). Es importante para el crecimiento de la planta, pues participa en la transferencia de energía, fotosíntesis, además es el principal constituyente de las biomoléculas que contienen la información genética y participan en la división celular (Ramírez et al. 2018, p.32).

### 2.7.4.3. Potasio

Al igual que el nitrógeno, representa entre el 1 y 4% del peso seco de la planta, ayuda en la síntesis de glúcidos y proteínas, favoreciendo a las estructuras vegetales. Una buena cantidad de potasio mejora la tolerancia de la planta frente a la sequía, las plantas con cantidades altas de potasio padecen pocas enfermedades (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015, p.8; Ramírez et al. 2018, p.32).

## 2.8. Parámetros biológicos

Entre los indicadores más importantes de la madurez y calidad del compost se encuentra el índice de germinación.

### 2.8.1. Índice de germinación (IG)

Se lo conoce también como índice de Zuconni, es una técnica aplicada para determinar el nivel de fitotóxicos que contiene el compost que se han originado en la fase activa del proceso de compostaje, éste se calcula en base a la cantidad de semillas germinadas y la longitud de las radículas. Se basa en exponer semillas a un extracto de compost y compararlas con semillas expuestas a agua destilada (Lasaridi and Stentiford, 1998, pp.54-55).

**Tabla 1-2: Porcentajes de Índice de Germinación**

Valores	Fitotoxicidad
< 50%	Alta
50-80%	Moderada
>80%	Nula
>100%	Fitonutriente

**Realizado por:** Rudy Ramos, 2020

**Fuente:** Lasaridi and Stentiford, 1998

## 2.9. Efectos de la generación de residuos sólidos

Los residuos orgánicos representan uno de los problemas ambientales más importantes. El desconocimiento, la falta de espacio y el tiempo hacen que estos residuos, sean incinerados, enterrados o abandonados en lugares no aptos, problemas que traen consecuencias perjudiciales para el ambiente (Acosta et al. 2006; Román, Martínez y Pantoja, 2013, p. 22).

La incorporación de materia orgánica fresca al suelo, puede ser la causa de toxicidad en las plantas del lugar debido a la inestabilidad e inmadurez de la materia orgánica presente, así como la presencia de ácidos grasos y compuestos fenólicos producido por la descomposición natural de los compuestos orgánicos.

### ***2.9.1. Calentamiento global***

Es definido como cualquier cambio en los factores climáticos, pueden ser naturales como la intensidad solar, pequeños cambios en la órbita del planeta, cambios en la circulación de las aguas oceánicas. Algunas actividades humanas pueden ser responsables de ligeros cambios en la composición de la atmósfera y la superficie terrestre (Atehmengo, Idika and Shehu, 2014, pp.2-3).

La generación de residuos sólidos en el área industrial y agrícola representan un incremento entre el 3 y 4% del porcentaje anual de las emisiones de gases de efecto, especialmente metano, siendo éste uno de los principales gases causantes del calentamiento global; se espera que con el incremento de la población mundial, la cantidad de residuos también aumente y la generación de gases se vea afectada directamente (Monni, Pipatti and Syri 2006, pp.3-4).

## **2.10. Marco legal**

El Ministerio del Ambiente es la entidad rectora y reguladora de los sistemas de gestión ambiental, que trabaja acorde a las leyes y al ámbito de las competencias de las instituciones públicas del país.

### ***2.10.1. Normativa general***

#### ***2.10.1.1. Constitución política de la República del Ecuador***

Fue publicada en Registro Oficial el 20 de octubre del 2008. Es la norma fundamental que contiene los principios, derechos y libertades de quienes conforman la sociedad ecuatoriana y constituye la cúspide de la estructura jurídica del Estado, en la cual establecen las siguientes garantías y principios ambientales: (Constitución Política del Ecuador, 2008 citado por Álvaro y Olives 2013, pp.29-31)

**Artículo 14** de la sección segunda, Ambiente sano, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir,

que en idioma kichwa se denomina sumak kawsay. De igual manera, declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Artículo 23 Capítulo 2**, establece el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.

**Artículo 20**, establece el derecho a una calidad de vida que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, saneamiento ambiental, educación, empleo y otros servicios sociales necesarios.

**Artículo 276 numeral 4**, señala que el régimen de desarrollo tendrá entre otros objetivos, el recuperar y preservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable, que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad de agua, aire y suelo, y a los beneficios, de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

**Artículo 397 numerales 2 y 3**, señala de interés público la preservación del ambiente, para lo cual el Estado se compromete a establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios, naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

**Artículo 415**, establece que los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos.

#### **2.11. Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente**

El TULSMA permite dirigir la gestión ambiental a nivel nacional, para lograr el uso sustentable y la conservación del capital natural del Ecuador, asegurar el derecho de sus habitantes a vivir en un ambiente sano y apoyar la competitividad del país.

Libro 6, Anexo 6, Normas De Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Sólidos No Peligrosos.

Establece:

De las responsabilidades en el manejo de los desechos sólidos

El Manejo de los desechos sólidos en todo el país será responsabilidad de las municipalidades, de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de Salud. Las municipalidades o personas responsables del servicio de aseo, de conformidad con las normas administrativas correspondientes podrán contratar o conceder a otras entidades las actividades de servicio.

## **2.12. Acuerdo ministerial 140**

**Artículo 74**, los indicadores que se evaluarán para otorgar el Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental Punto Verde por Buenas Prácticas Ambientales en Dependencias Administrativas, donde resaltan que:

“...Cantidad de residuos orgánicos gestionados. - Hace referencia a los residuos aptos para el compostaje como restos de comida, materia vegetal, entre otros. El indicador se calculará comparando los datos de dos años consecutivos. La tendencia esperada es mantener o incrementar la gestión, en caso de ser aplicable”

**Artículo 86.** Gestión de Desechos: Cada institución deberá

“...Cada entidad podrá proponer y ejecutar acciones para el manejo de desechos orgánicos como la entrega a gestores autorizados, el compostaje, entre otros” (Núñez, 2015).

“...Cada entidad podrá proponer y ejecutar acciones para el manejo de desechos orgánicos como la entrega a gestores autorizados, el compostaje, entre otros” (Núñez, 2015).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Descripción del lugar

##### 3.1.1. Datos Generales de la Parroquia Facundo Vela

Según la Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2015-2025), la Parroquia rural Facundo Vela de la Provincia de Bolívar, se encuentra ubicada al norte del cantón Guaranda en una zona subtropical antiguamente conocida como “Las tierras de Piñanatug”.

**Tabla 1-3** Datos Generales de la Parroquia Facundo Vela

<b>PROVINCIA</b>	<b>Bolívar</b>
<b>CANTÓN</b>	Guaranda
<b>PARROQUIA</b>	Facundo Vela
<b>SUPERFICIE</b>	117,67 Km <sup>2</sup>
<b>LÍMITES PARROQUIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>AL NORTE:</b> cantón Pangua provincia de Cotopaxi</li><li>✓ <b>AL SUR:</b> La Parroquia Salinas y Simiatug del Cantón Guaranda</li><li>✓ <b>AL ESTE:</b> La parroquia Simiatug del Cantón Guaranda</li><li>✓ <b>AL OESTE:</b> Parroquia San Luis de Pambil del Cantón Guaranda</li></ul>
<b>CLIMA</b>	Subtropical
<b>TEMPERATURA</b>	Entre 12 Y 22 °C
<b>PRECIPITACIÓN ANUAL</b>	De 1000 A 1500 mm/AÑO
<b>POBLACIÓN</b>	3 319 Habitantes, Proyectado al 2015 3,09Hab.
<b>COMPOSICIÓN POBLACIONAL</b>	(51,58%) Hombres y (48,42%) Mujeres
<b>COMUNIDADES</b>	<b>38 COMUNIDADES:</b> La Vega, La Paz, LLoavi, Las Playas, Macabi, Arrayan, Balsaloma, Chacadahua, Missan, Nahuanloma, Negro Cruz, Relampa, La Florida, La Unión, Ponguito, Lumbigana, Cocha Brava, Bellavista, Pucará, Tunan, Quibana, El Descanso, Quibana Alto, Santa Teresita, Velazco Ibarra, Nuñurco, Candacho, Facundo Vela, Naranjal, Yanahurco, El Torneado, La Primavera, La Horqueta, El Descanso, El Recreo, La Floresta, Cadefilo, La Envidia, El Porvenir.

**Fuente:** INEC, GADP de Bolívar 2015-2025

**Realizado por:** Rudy Ramos, 2020

Facundo Vela es una de las nueve parroquias que conforman el cantón Guaranda. Su principal fuente de ingreso es la agricultura (cultivo de frutas y granos) y ganadería (lácteos). Los habitantes

practican una agricultura casera, con cultivos de ciclo: fréjol, arveja y maíz y frutales como, tomate de árbol, granadilla, mora, chamburo y pastos naturales. Las tecnologías del cultivo son rudimentarias y la capacitación de producción y comercialización es limitada.

En esta Parroquia existen microempresas que se dedican a la producción de mermeladas y elaborados de harina; a nivel familiar se procesa la caña de azúcar de manera tradicional y artesanal, producen alfeñiques, panela y aguardiente. Otras actividades a las que se dedican sus habitantes son la crianza de aves y de animales domésticos.



**Figura 1-3:** Mapa de la Parroquia Facundo Vela  
Fuente: INEC, GADP de Bolívar 2015-2025

### 3.1.2. Datos generales del cantón Riobamba

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, la provincia de Chimborazo y su cantón Riobamba, pertenecen a la zona 3 a igual que las provincias de Cotopaxi, Pastaza y Tungurahua.

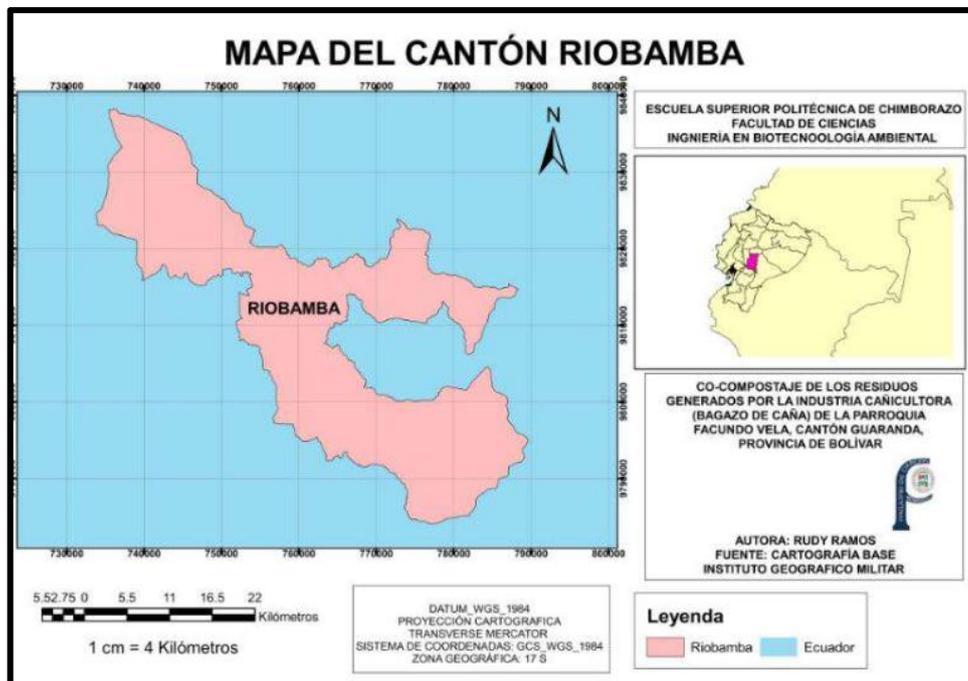
**Tabla 2-3:** Datos Generales del Cantón Riobamba

PROVINCIA	<b>Chimborazo</b>
CANTÓN	Riobamba
UBICACIÓN	2 754 metros sobre el nivel del mar, a 1° 41' 46" latitud Sur; 0° 3'36" longitud Occidental del meridiano de Quito.

LÍMITES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>AL NORTE:</b> Cantones de Guano y Penipe.</li> <li>✓ <b>AL SUR:</b> Cantones de Colta y Guamote.</li> <li>✓ <b>AL ESTE:</b> Cantón Chambo.</li> <li>✓ <b>AL OESTE:</b> Provincia de Bolívar.</li> </ul>
CLIMA	Frio
TEMPERATURA	8 °C a 19 °C , rara vez 5 °C a 22 °C
PRECIPITACIÓN ANUAL	551 mm/año
POBLACIÓN	225 741 (2010)
DIVISIÓN	<p>La ciudad tiene 5 parroquias urbanas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lizarzaburu</li> <li>• Maldonado</li> <li>• Velasco</li> <li>• Veloz</li> <li>• Yaruquíes</li> </ul>

Fuente: INEC, GADP de Chimborazo 2016-2021

Realizado por: Rudy Ramos, 2020



**Figura 2-3:** Mapa de la ciudad de Riobamba

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

### 3.1.3. Datos generales de la ESPOCH

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una institución ecuatoriana de educación superior, con sede central en la ciudad de Riobamba, en la parroquia urbana Lizarzaburu en la Panamericana Sur km 1 1/2. Desde 2012 pertenece a la Red Ecuatoriana de Universidades para Investigación y Postgrado (ESPOCH, 2020).

#### 3.1.3.1. Lugar Experimental

El experimento se realizó en el Centro de acopio de residuos sólidos de la ESPOCH

**Tabla 3-3: Localización del Centro de Acopio de Residuos Sólidos- ESPOCH**

<b>País</b>	Ecuador
<b>Provincia</b>	Chimborazo
<b>Cantón</b>	Riobamba
<b>Parroquia</b>	Lizarzaburu
<b>Dirección</b>	Zona noroeste de la ESPOCH, adyacente a la Facultad de Recursos Naturales, frente al centro Agrometeorológico de la institución.

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

Fuente: ESPOCH, 2020

La función del centro de acopio es la de receptor residuos orgánicos sólidos que pueden ser aprovechados en la elaboración de abonos orgánicos, mediante tratamientos como compostaje, bocashi, preparación de bioles, entre otros.

Aquí se desarrollan diversos proyectos de carácter educativo y de desarrollo ambiental con el propósito de mejorar el conocimiento y destrezas de los estudiantes y la calidad ambiental de la institución.

**Tabla 4-3: Ubicación Geográfica del Centro de Acopio de Residuos Sólidos-ESPOCH**

<b>Altitud:</b>	2 843 msnm
<b>Latitud:</b>	1°39'3.26"S
<b>Longitud:</b>	78°41'10.19"O
<b>Características Climáticas</b>	
<b>Temperaturas:</b>	Máxima: 21,5°C
	Mínima: 7,2°C

	Promedio: 13.3°C
<b>Humedad relativa:</b>	Máxima: 95.7%
	Mínima: 36.3%
	Promedio: 73%
<b>Precipitación media anual:</b>	561 mm

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

Fuente: ESPOCH, 2020



**Figura 3-3:** Mapa de ubicación del Centro de Acopio-ESPOCH

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

## 3.2. Parte experimental

### 3.2.1. Selección de la muestra

La técnica utilizada para la recolección de las muestras fue el método del cuarteo, tomando 4 submuestras de diferentes partes de las unidades experimentales, con la finalidad de obtener una muestra representativa de 1 kilogramo para los respectivos análisis en el laboratorio.

### 3.2.2. Materiales y equipos

Todos los materiales y equipos manipulados durante el desarrollo del proyecto en la parte de campo se mencionan en la siguiente tabla según su actividad.

**Tabla 5-3:** Materiales y equipos para el proceso de compostaje

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN		
<b>Recolección del Residuo (bagazo de caña) en la Parroquia Facundo Vela.</b>	<b>MATERIALES</b>	Plástico en metros	3 unidades
		Mascarillas de seguridad	6 unidades
		Guantes de látex	Varios
		Palas	6 unidades
	<b>MAQUINARIA</b>	Volqueta	6 unidades
<b>Recolección y clasificación de los residuos orgánicos.</b>	<b>EQUIPOS</b>	Balanza mecánica	1 unidad
		Calculadora	1 unidad
	<b>MATERIALES</b>	Mascarillas rectangulares	1 unidad
		Guantes de látex	Varios
		Palas	1 unidad
		Botas de caucho	1 pares
<b>Recolección del Estiércol de Conejo del galpón de especies menores de la ESPOCH</b>	<b>EQUIPOS</b>	Balanza mecánica	1 unidad
		Pala	1 unidad
	<b>MAQUINARIA</b>	Vehículo tipo camioneta	1 unidad
	<b>Montaje de las pilas</b>	<b>EQUIPOS</b>	Termómetro
Balanza mecánica			1 unidad
Higrómetro			-
<b>MATERIALES</b>		Mascarillas de seguridad	Varios
		Palas	2 unidad
		Manguera	1 unidad
		Guantes de látex	Varios
Libreta de campo	1 unidad		
<b>Monitoreo del proceso</b>	<b>EQUIPOS</b>	Termómetro	1 unidad
		Higrómetro	1 unidad
	<b>MATERIALES</b>	Manguera	1 unidad

<b>Preparación de los microorganismos de montaña en melaza</b>	<b>MATERIALES</b>	Pala	1 unidad
		Recipiente de plástico	1 unidad
		Baldes	2 unidades
		Saco nylon	1 unidad
		Guantes de Látex	1 unidad
		Mascarillas de Seguridad	1 unidad
		Palo de madera	1 unidad
Soga	1 unidad		

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

### 3.3. Tratamientos

El trabajo de titulación se lo realizó con tres unidades (tres pilas), no se manipularon variables, únicamente se realizó un análisis inicial de materia orgánica, nitrógeno y humedad para trabajar con una relación C/N adecuada (alrededor de 30:1). La investigación se llevó a cabo entre los meses de diciembre del 2019 a junio del 2020. Para la formación de las pilas se emplearon residuos de la industria cañicultora (Bagazo de Caña), residuos del Mercado de Productores San Pedro de Riobamba y estiércol de conejo del galpón de especies menores de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

A lo largo del proceso se controlaron la temperatura, la humedad y la aireación y en los laboratorios, el pH, la CE, la MO, los macronutrientes (N, P, K) y el IG. El volteo de las pilas fue manual y se realizó en función de la temperatura.

**Tabla 6-3:** Montaje de las pilas

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>Pila 1</b>	Bagazo de Caña	500 kg
	Residuos de Mercado Triturado	500 kg
	Microorganismos de Montaña	53L
<b>Pila 2</b>	Bagazo de Caña	400kg
	Residuos de Mercado Triturado	800 kg
	Estiércol de Conejo	200 Kg
	Microorganismos de Montaña	53 L
<b>Pila 3</b>	Bagazo de Caña	350 kg
	Residuos de Mercado Triturado	700 kg
	Microorganismos de Montaña	53L

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

### **3.4. Preparación de los microorganismos de montaña**

#### ***3.4.1. Materiales***

- ✓ 20 lb de suelo con microorganismos de Montaña
- ✓ 20 litros de melaza
- ✓ 160 litros de agua lluvia
- ✓ Barril plástico con tapa con capacidad de 200 L
- ✓ Saco plástico
- ✓ Paleta de madera

#### ***3.4.2. Procedimiento***

- ✓ Colocar las 20 libras de suelo con microorganismos de montaña sólidos (MMS) dentro de un saco de plástico
- ✓ En el barril, colocar 160 L de agua lluvia.
- ✓ Añadir 20 L de melaza y con la paleta de madera remover hasta que se mezclen
- ✓ Sumergir el saco con microorganismos de montaña dentro del barril, como si fuese una bolsita de té.
- ✓ Cerrar muy bien el barril.
- ✓ Dejar en reposo por 15 días protegido de la luz, sol y lluvia.

### **3.5. Elaboración del compost**

#### ***3.5.1. Obtención de los componentes para la elaboración del compost.***

La materia orgánica empleada correspondió a bagazo de caña proveniente de las fincas de la Parroquia Facundo Vela, residuos orgánicos de mercado provenientes del Mercado de Productores San Pedro de Riobamba formados por hortalizas, frutas, tubérculos y vegetales en general y en una de las pilas, estiércol de conejo recolectado del galpón de Especies Menores de la Facultad de Ciencias Pecuarias.

### ***3.5.2. Montaje de las pilas***

Antes de mezclar la materia orgánica para cada tratamiento (Tabla 7-3), los residuos de mercado fueron picados hasta obtener un tamaño de aproximadamente 3 a 5 cm para facilitar su degradación.

Los residuos fueron colocados en capas hasta formar un montículo o pila de forma trapezoidal con una altura aproximada de 1,3 m.

### ***3.5.3. Control de la temperatura, humedad y aireación***

Para el registro de la temperatura y la humedad se establecieron 3 puntos de referencia en cada pila; al inicio del proceso el control de temperatura se realizó tres veces por semana (durante 54 días) para posteriormente controlar dos veces por semana. A los 40 días de tratamiento, se adicionaron los microorganismos de montaña con la finalidad de enriquecer y reactivar las pilas de compostaje. A partir del día 97, por la dificultad de ingresar a la ESPOCH, la temperatura se tomó una vez a la semana hasta el día 177, tiempo en el que empezó la fase de maduración, pues las temperaturas fueron similares a las del ambiente. Para esto, las pilas se extendieron a una altura de 60 cm.

El control de la humedad se realizó conjuntamente con el control de la temperatura. Para esto se empleó un higrómetro de jardín. Cuando las pilas marcaban una humedad inferior al 60% se procedía a añadir agua con la ayuda de una manguera.

La aireación de las pilas se realizó mediante volteos manuales, cuando las pilas tenían una temperatura menor a 21 °C. En total se realizaron 6 volteos durante el proceso. Con los volteos se suministró oxígeno a las bacterias aerobias, con lo que la temperatura se incrementaba. Al final del proceso la temperatura fue similar a la del ambiente con lo que se dio por concluida la fase biooxidativa. Durante la etapa de maduración las pilas permanecieron en reposo.

### ***3.5.4. Toma de muestras y tiempo de elaboración del compost.***

Las pilas se armaron el 6 de diciembre del 2019 y el proceso finalizó el 8 de junio del 2020. Las muestras iniciales se tomaron el día del montaje de las pilas, posteriormente se tomaron muestras representativas por el método del cuarteo hasta obtener una muestra de 1 kg. En cada pila se tomaron 8 muestras (una inicial, 6 antes de cada volteo y una final) para realizar los correspondientes análisis de laboratorio.

### 3.6. Análisis físicos, fisicoquímicos, químicos y biológicos

Los parámetros analizados en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH fueron: Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, pH, Conductividad Eléctrica e Índice de Germinación.

Las determinaciones de N, P, K e IG se realizaron únicamente en las muestras iniciales y finales. Las técnicas empleadas para la caracterización de estos parámetros constan en los siguientes anexos: **Anexo M:** Técnica para la determinación de Materia Orgánica, **Anexo N:** Técnica para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica, **Anexo Ñ:** Técnica para determinar el Índice de Germinación y el **Anexo O:** Técnica para determinación de Nitrógeno y Carbono.

Los análisis de los macronutrientes N, P, K fueron realizadas con un Kit de N, P, K de Novachem “La Motte”, reportando los porcentajes de los macronutrientes asimilables por la planta. Previamente, las muestras fueron sometidas a una digestión ácida y por espectrofotometría, se obtuvieron los porcentajes de macronutrientes. La técnica empleada para el análisis de estos macronutrientes consta en el **Anexo P:** Técnica para Análisis Químicos-Macronutrientes N, P, K

**Tabla 7-3:** Análisis realizados en la Facultad de Ciencias

ANÁLISIS	LABORATORIO	EQUIPO
<b>pH y Conductividad eléctrica</b>	Investigación	✓ Multiparámetro pH y CE FC-L.INV-003 ORION VERSASTAR PRO
<b>Secado y Pesaje de muestras</b>	Biotecnología	✓ Estufa ESCO ISOTHERM ✓ Balanza Analítica
<b>Índice de Germinación</b>	Biotecnología	✓ Incubadora Memmer
<b>Materia Orgánica</b>	Protección Ambiental	✓ Mufla HYSC

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Caracterización de las muestras iniciales

Las muestras iniciales fueron caracterizadas para establecer las relaciones C/N adecuadas. Se decidió trabajar con relaciones superiores a 30:1 con el fin de gestionar mayores cantidades de bagazo de caña, ya que éste es el residuo que se quiere tratar.

Los porcentajes de carbono se calcularon al dividir los valores de materia orgánica para 1,84 (Iglesias y Pérez, 2002).

**Tabla 1-4:** Caracterización de las muestras iniciales.

Parámetros	Bagazo de caña	Residuos de mercado	Estiércol de conejo
Materia Orgánica (%)	88,12	84,51	91,49
*Carbono (%)	47,89	45,93	49,72
Nitrógeno (%)	1,25	1,51	0,7
Humedad	10	65	35

\*Dato calculado a partir de la materia orgánica

**Realizado por:** Rudy Ramos, 2020

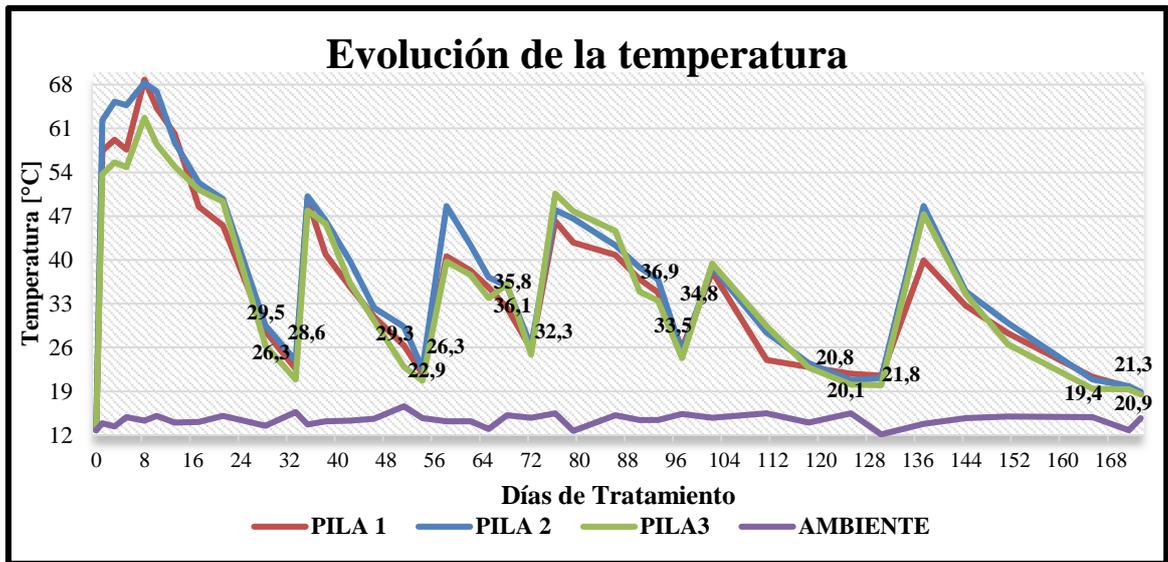
## **4.2. Parámetros analizados**

### **4.2.1. *Parámetros de control del proceso***

#### **4.2.1.1. *Temperatura***

En el Gráfico 1-4 se observa la evolución de la temperatura en las tres pilas. Durante los 15 primeros días, las pilas alcanzaron temperaturas entre 56 y 68°C. Esto, es un indicador de la presencia de interacciones microbianas debido a que la actividad biológica es la causante de la generación de calor. En la primera fase, las altas temperaturas indican la presencia de materia orgánica degradable, pues los residuos orgánicos contienen energía almacenada que se libera cuando la molécula es transformada en sustancias más sencillas (Barrera, (2006, pp.21-22). La pila 2, presenta el perfil de energía ligeramente más alto, posiblemente la presencia de excretas de conejo ayuda a mantener la temperatura.

El primer volteo se realizó en el día 33, esto hace que las temperaturas vuelvan a subir, manteniéndose en el rango mesófilo. En los días 53 y 130, las temperaturas son ligeramente superiores a 20°C, por lo que se decide realizar los volteos y añadir los microorganismos de montaña previamente preparados. Como era de esperar, las pilas vuelven a calentarse con lo que se concluye que la adición de microorganismos de montaña activa los procesos de compostaje, ya que éstos están compuestos principalmente por hongos y bacterias que representan habitantes naturales de sistemas edáficos (Kondo, 2015). Adicionalmente, este sistema de microorganismos ha sido promovido recientemente para crear bioles o biofermentos sistemas líquidos de fertilización con actividad biológica que puedan ser usados para fertilizar sistemas agrícolas (Campo Martínez et al., 2014) y hasta para otros sistemas productivos (Chiari, 2015) por lo que su adición al compost brinda beneficios adicionales.



**Gráfico 1-4:** Evolución de la temperatura

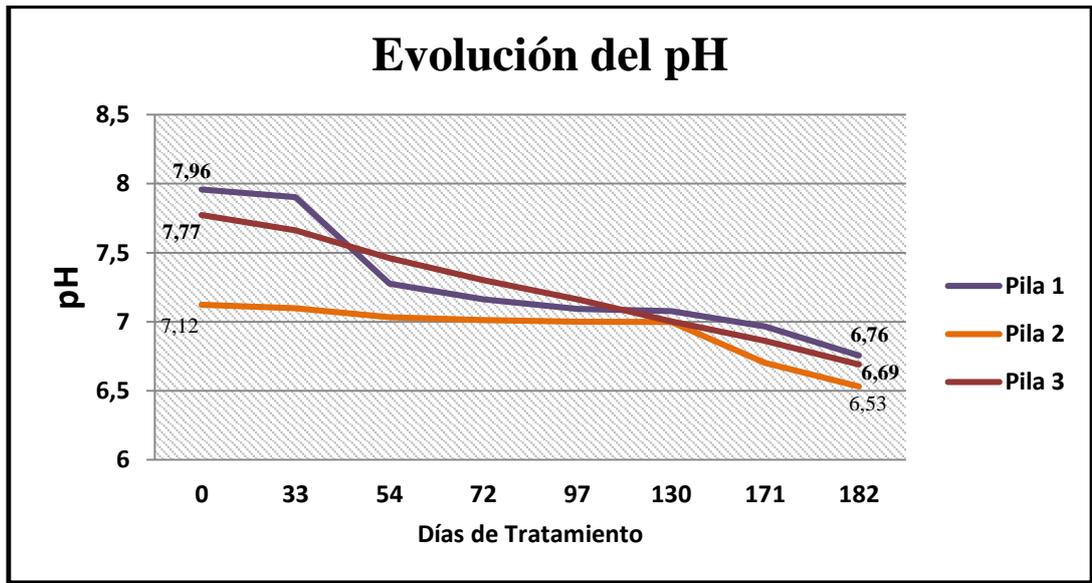
Realizado por: Rudy Ramos, 2020

A los 90 días, los tratamientos entraron en la etapa mesoflica disminuyendo la actividad microbiana, posiblemente por la presencia de sustancias de baja biodegradabilidad, durante este proceso los microorganismos se adaptan a las condiciones que se presentan (EPAS, 2015, p.8).

En el período mesofílico se observaron picos de subida y bajada de temperaturas, debido a la adición de agua y a la aireación dada por el volteo, activando así las poblaciones microbianas presentes en las pilas. Al cumplirse las fases anteriores y voltear por última vez, los tratamientos presentaron temperaturas promedio cercanas a las del ambiente. La etapa de maduración duró 30 días, esta etapa se la conoce también como etapa de curada y puede durar entre uno y cuatro meses debido a que los compuestos fáciles de degradar fueron metabolizados en la primera etapa. Al descender la temperatura, la descomposición es realizada por microorganismos mesófilos. Debido a los cambios de temperatura se puede establecer la eficiencia y la estabilidad del proceso (Docampo, 2013, p.65, p.63; Fallas, 2016, p.4).

#### 4.2.1.2. Potencial de Hidrogeno (pH)

Según Villa (2017), el pH es uno de los parámetros más importantes en el proceso del compostaje ya que valores menores a 3 y mayores a 11 evitarán el desarrollo de la microbiota que permite la degradación de la materia orgánica.



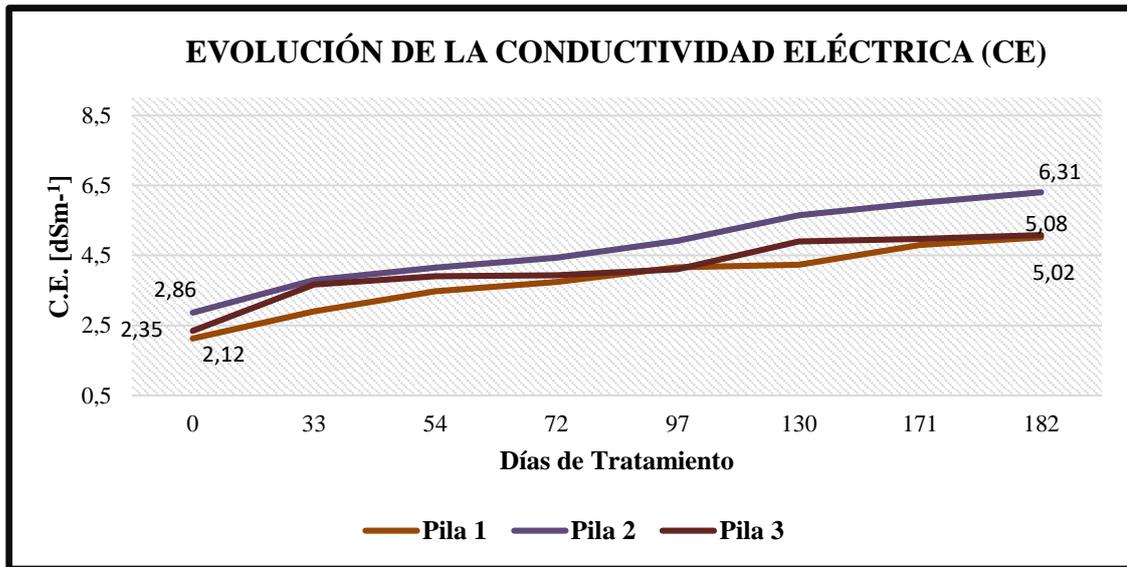
**Gráfico 2-4:** Evolución del pH

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

En el Gráfico 2-4 se puede apreciar una baja del pH en los 3 tratamientos llegando a valores finales inferiores a 7, pero cercanos a la neutralidad, lo que los hace adecuados para su aplicación en los suelos de acuerdo a lo establecido por la US Composting Council (2001). Según Villar (2017) al finalizar el procedimiento de compostaje, el rango óptimo de pH que indica la formación de compuestos húmicos con efecto tampón se encuentra en el rango de 7 a 6.

#### 4.2.1.3. Conductividad Eléctrica (CE)

En el gráfico 3-4 se puede observar que en todos los tratamientos existe un aumento de la CE, lo que está directamente relacionado con el aumento de los nutrientes presentes en cada tratamiento (Gordillo and Chávez, 2018, p.4) y la presencia de sales minerales e iones amonio que incrementan su concentración relativa debido a la pérdida de masa de las pilas (Paredes et al., 2000).



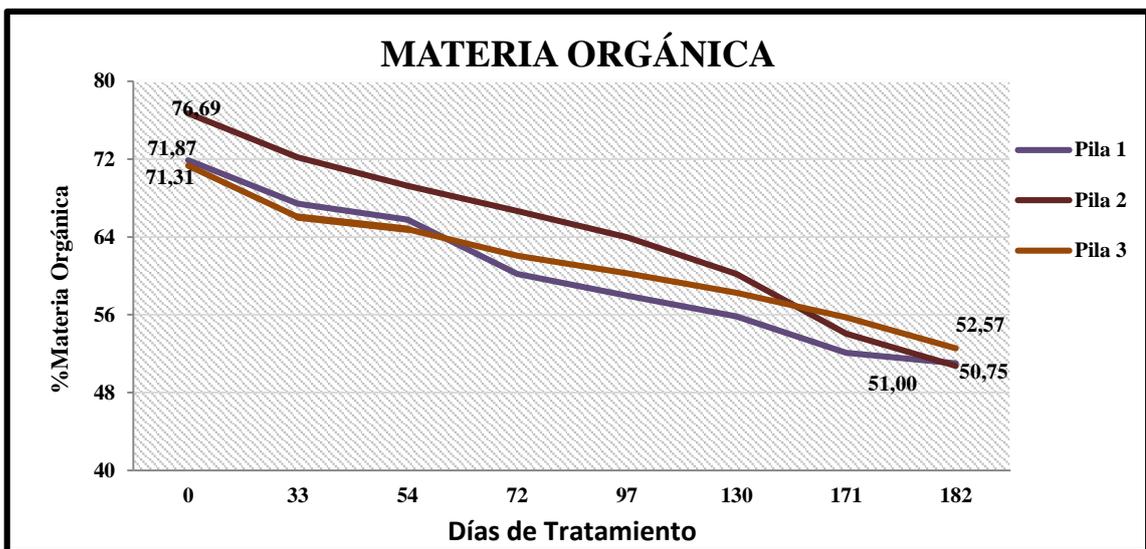
**Gráfico 3-4:** Evolución de la Conductividad Eléctrica (CE)

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

Según la Legislación española, los valores de CE deben ser inferiores a  $6 \text{ dSm}^{-1}$  (BOE, 2013). En este sentido, se podría considerar que todos los compost, sobre todo los de las pilas 1 y 3 pueden ser usados en agricultura, inclusive se podrían usar como sustratos para la producción de cultivos sin suelo, ya que la salinidad representa el principal factor limitante para la germinación y el crecimiento de las semillas, debido a la potencial fitotoxicidad asociada al contenido de sales (Bustamante et al., 2008).

#### 4.2.1.4. Materia Orgánica (MO)

Los porcentajes iniciales de MO en las tres pilas fueron superiores al 71%. En el gráfico 4-4 se evidencia la pérdida de MO en todas las pilas, debido a su degradación y mineralización, llegando a presentar valores finales entre 50 y 52%. Estos valores pueden considerarse altos con respecto a los porcentajes finales de MO en compost con residuos de mercado en mezcla con poda (Jara et al., 2017) pero están dentro de los parámetros indicados en la Directiva de la USA (2000) que indica valores entre 50-60%. Esto pudo deberse a que el bagazo de caña de azúcar tiene como característica principal, la riqueza de compuestos orgánicos tales como celulosa, hemicelulosa y lignina que suelen descomponerse lentamente (Pérez Méndez et al., 2011). En la etapa de maduración las pérdidas de MO fueron mínimas, lo que indica una estabilización de la materia después de la fase biooxidativa (Bustamante et al, 2008).



**Gráfico 4-4:** Variación de materia orgánica

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

#### *4.2.1.5. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)*

Las relaciones C/N iniciales en las tres pilas fueron superiores al 30% y las de los compost obtenidos fueron entre 22 y 26. Si bien ha habido un descenso en esta relación, los valores son superiores a 20, que es el valor referencial (BOE, 2013). La presencia de celulosa, hemicelulosa y compuestos derivados de la lignina son sólo parcialmente descompuestos durante el compostaje y su degradación suele ocurrir lentamente (Bernal et al., 2009). Con esta consideración, se puede indicar que los compost han alcanzado un grado aceptable de madurez.

Los valores de Carbono fueron obtenidos en base al % de MO, según lo establecido por (Iglesias y Pérez, 1992) que indica que el  $\%C = MO/1,84$ .

### **4.3. Caracterización química de los tratamientos**

#### *4.3.1. Contenido de macronutrientes*

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ( 2015, p.7) menciona que los macronutrientes (N, P, K) que se encuentran en el suelo son utilizados por las plantas para su desarrollo; por tanto cuando los suelos son pobres, se hace necesario adicionar abonos ricos en estos nutrientes.

Como se observa en la tabla 2-4, al final de la etapa de maduración aumentó el porcentaje de macronutrientes. Esto se debe al efecto de concentración por la pérdida de MO. Los valores de N y P fueron superiores al 1% por lo que cumplen con los requerimientos de la Directiva de la Unión Europea (2006).

Según Ramírez (2018, p.32), el nitrógeno es el principal promotor en el crecimiento vegetal, además ayuda al proceso de fotosíntesis realizado por las plantas y a la síntesis de clorofila; la ausencia o baja disponibilidad de nutrientes dificulta la fijación biológica del nitrógeno.

El P representa entre el 0, 1 y 0,4 % del peso seco de la planta, juega un papel fundamental en los procesos químico-fisiológicos de las plantas, pues es el encargado de la diferenciación de las células para el desarrollo de los diferentes tejidos vegetales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015, p.8).

**Tabla 2-4:** Contenidos de N, P y K

TRATAMIENTO	PARÁMETROS ANALIZADOS (%)	RESULTADOS	
		Día 0	Día 182
PILA 1	N	0,88	1,26
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,67	1,50
	K <sub>2</sub> O	0,14	0,18
PILA 2	N	0,76	1,12
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,70	1,48
	K <sub>2</sub> O	0,14	0,17
PILA 3	N	0,72	1,08
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,68	1,00
	K <sub>2</sub> O	0,15	0,17

N: Nitrógeno, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Fósforo, K<sub>2</sub>O: Potasio

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

El K es el macronutriente presente en porcentajes más bajos. Sería aconsejable añadir residuos ricos en este elemento, pues su presencia ayuda en la síntesis de glúcidos y proteínas, favoreciendo a las estructuras vegetales, mejorando la tolerancia de la planta frente a la sequía y altos contenidos de sales en el suelo; las plantas con cantidades altas de potasio padecen pocas enfermedades (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015, p.8; Ramírez et al. 2018, p.32)

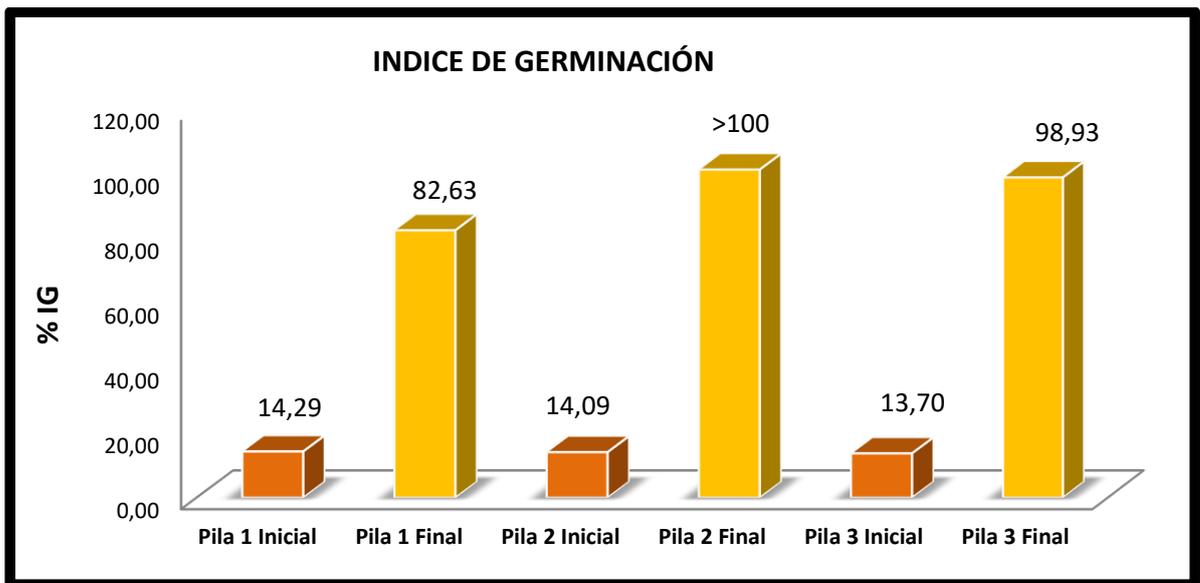
#### 4.4. Caracterización biológica de los tratamientos

##### 4.4.1. Prueba de fitotoxicidad

**Tabla 3-4:** Índice de Germinación

COMPONENTE	PILA 1		PILA 2		PILA 3	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
IG: Índice de Germinación	14,29	82,63	14,09	>100	13,70	98,93

Realizado por: Rudy Ramos, 2020



**Gráfico 5-4:** Índice de germinación de los tratamientos

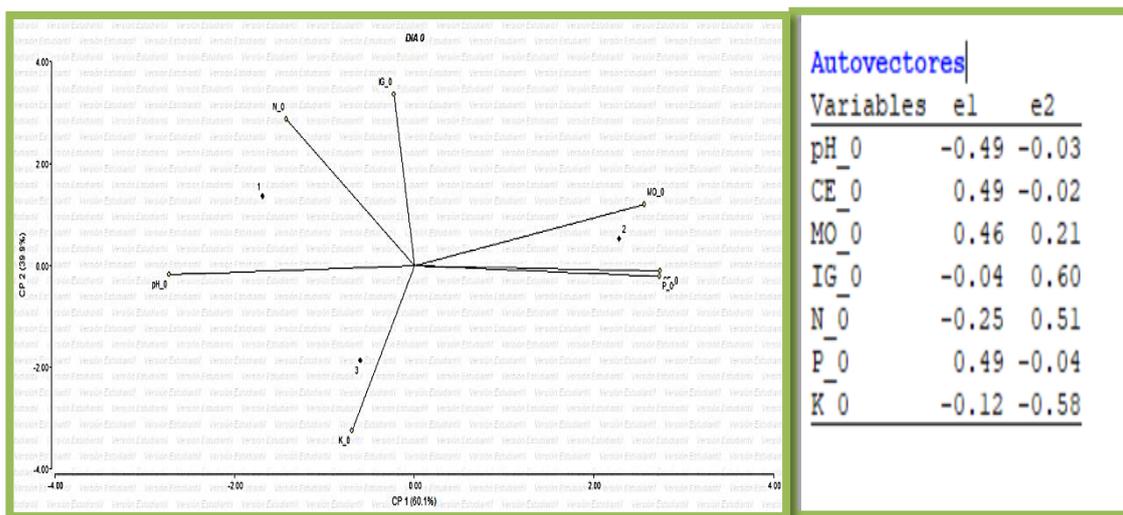
Realizado por: Rudy Ramos, 2020

Esta técnica se lo conoce también como índice de Zuconni, es una técnica aplicada para determinar el nivel de fitotóxicos que contiene el compost que se han originado en la fase activa del proceso de compostaje (Lasaridi and Stentiford, 1998, pp.54-55).

Los bajos porcentajes de IG en las muestras iniciales se deben a la presencia de sustancias fitotóxicas. Al final del proceso de compostaje, se evidenció la descomposición de estas sustancias, alcanzando porcentajes superiores al 80% como un indicativo de un compost maduro. Estos resultados son comparables a los obtenidos con compost preparados con lodos y bagazo de caña y probados con semillas de variedades locales de haba (Rolz, et al., 2010). Índices de germinación superiores al 95% fueron encontrados empleando semillas de rábano en compost de lodos y bagazo a los 120 días de preparación, aunque valores mucho más bajos fueron reportados en estos compost a los 60 días del proceso (Satisha and Devarajan 2007).

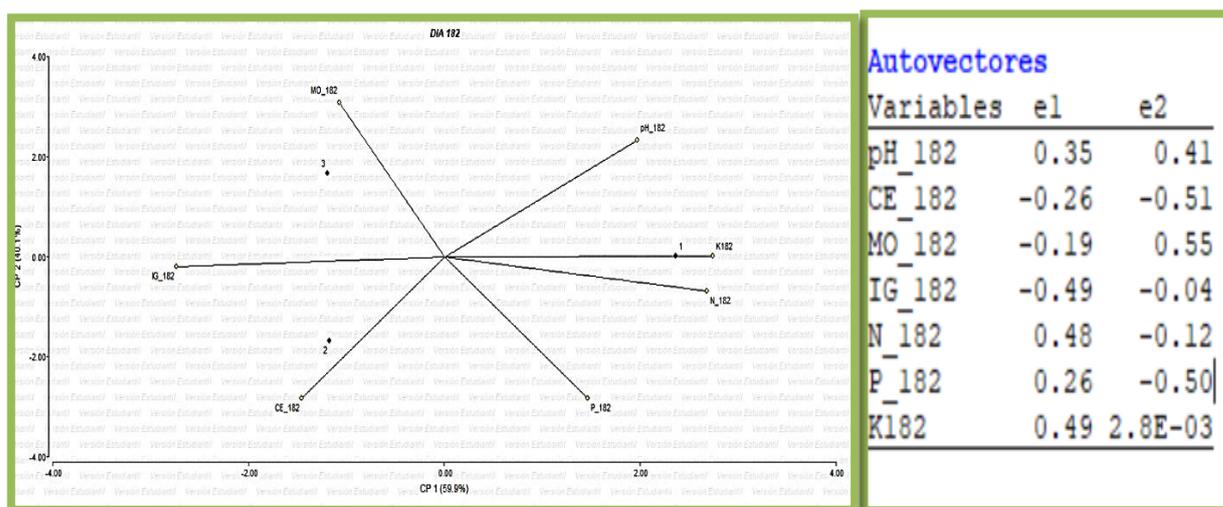
## Análisis estadístico

Mediante un análisis de componentes principales (PCA) se pudo determinar el estadístico que nos permite corroborar que existieron cambios o variantes en este trabajo, mismo que se ve reflejado en detalle en los gráficos siguientes.



**Gráfico 6-4:** Análisis de componentes principales (PCA) para los tratamientos (3 pilas) en el día 0.

En el gráfico 6-4 se puede observar el análisis inicial de las tres pilas (tratamientos), se diferencian por la existencia de variables determinantes, en la pila 1 los valores de pH y Nitrógeno se diferencian de los demás y están en el eje negativo con los 2 ejes; mientras que en la pila 2 se diferencian los valores de MO, CE y P que se encuentra en el eje positivo, puntos clave que demostrarán si existe un cambio.



**Gráfico 7-4:** Análisis de componentes principales (PCA) para los tratamientos (3 pilas) en el día 182

El gráfico 7-4 indica que en el día 182 o tratamiento final los valores han cambiado y se distingue que, aunque los tratamientos son diferentes ahora las variables que los distan son diferentes, un ejemplo claro se observa en la pila 3 especialmente en la variable del parámetro MO.

En los análisis de componentes principales de los días 0 y 182 se distinguen una gran diferencia de los tratamientos de cada parámetro. Así, el parámetro de pH, al estar en el rango óptimo permitió el desarrollo de la microbiota, la misma que degrada la materia orgánica. La conductividad eléctrica, un parámetro que permite determinar la mineralización de los residuos, aumentó a lo largo del tratamiento y lo fue haciendo correctamente.

La materia orgánica por su parte fue determinante principalmente en el consumo de O<sub>2</sub> por parte de los microorganismos presentes en el compost. El índice de germinación, técnica aplicada para determinar el nivel de sustancias fitotóxicas presentó valores superiores al 80% lo que indica que los compost obtenidos alcanzaron un grado de madurez recomendable. Los contenidos de macronutrientes N, P, K ayudaron en el crecimiento vegetal.

## **4.5. Caracterización física de los tratamientos**

### **4.5.1. Color**

Todos los productos mostraron un color marrón oscuro como resultado de la transformación de la materia orgánica en sustancias húmicas. Soto y Meléndez (2004b, p. 93) consideran que dicho color es óptimo para un abono orgánico de calidad.

### **4.5.2. Olor**

Los productos presentaron un olor a tierra húmeda de bosque, este olor característico se alcanzó debido a la estabilización de la materia orgánica.

## CONCLUSIONES

- En la parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar se aprovecharon los residuos generados en la industria cañicultora (bagazo de caña) en la elaboración de un compost maduro y estable.
- Los resultados de los análisis fisicoquímicos, químicos y biológicos de los tratamientos (pH, CE, %MO, IG, N, P y K) estuvieron dentro de los criterios de calidad establecidos en algunas normas nacionales e internacionales.
- La mezcla de bagazo de caña con residuos orgánicos de mercado, con o sin excretas de conejo, así como la adición de microorganismos de montaña y el correcto control de la temperatura, humedad y aireación durante el proceso fueron adecuados, pues se logró obtener un compost con altos contenidos de materia orgánica y con un pH, CE e IG dentro de los rangos aceptados internacionalmente, lo que garantizó la calidad del abono orgánico.
- El análisis estadístico demostró que, a lo largo del proceso de compostaje mediante la metodología propuesta, en los parámetros analizados existieron diferencias lo que indica un correcto tratamiento obteniendo un producto de calidad, demostrando así que el compost se puede utilizar a nivel agrícola o doméstico.

## **RECOMENDACIONES**

- En la parroquia Facundo Vela, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar deberían implementar tratamientos similares para aprovechar estos y otros residuos
- Se deben triturar los residuos orgánicos al inicio del proceso hasta lograr un tamaño de partícula apropiado de 1 a 5 cm para reducir su tiempo de degradación.
- Si se emplea estiércol, se recomienda utilizarlo lo más puro posible con el fin de obtener una mayor concentración de nitrógeno.
- Usar instrumentos de medición confiables para la determinación de los parámetros de control (temperatura y humedad) para obtener mediciones confiables.
- La adición de agua debe ser uniforme para conservar una humedad adecuada y ayudar a la microbiota para la degradación de los residuos.

## ABREVIATURAS

<b>C</b>	Carbono
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>CE</b>	Conductividad Eléctrica
<b>dS</b>	DeciSiemens
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>P</b>	Fósforo
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>GIDAC</b>	Grupo de Investigación para el Desarrollo del Ambiente y Cambio Climático
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>H</b>	Hidrógeno
<b>h</b>	Hora
<b>IG</b>	Índice de Germinación
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>MO</b>	Materia Orgánica
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro Cuadrado
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>O</b>	Oxígeno
<b>%</b>	Porcentaje
<b>K</b>	Potasio
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>C/N</b>	Relación Carbono/Nitrógeno
<b>RSO</b>	Residuos Sólidos Orgánicos
<b>t</b>	tonelada

## BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA, Y., et al.**, Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. 2006. *Multiciencias*, vol. 6, no. 3, pp. 220–227.

**ÁLVARO, M. and OLIVES, A.,** . *Identificación del potencial aprovechable de los residuos sólidos orgánicos que se generan en mercados, supermercados, parques, jardines y diferentes sectores industriales de la zona sur del DMQ*. 2013. S.l.: Univesidad Politécnica Salesiana.

**ATEHMENGO, L., IDIKA, I.K. and SHEHU, R.I.** Climate Change / Global Warming and Its Impacts on Parasitology / Entomology. *The Open Parasitology Journal* [en línea], 2014, no. 5, pp. 1–11. Disponible en: <https://openparasitologyjournal.com/contents/volumes/V5/TOPARAJ-5-1/TOPARAJ-5-1.pdf>.

**BARRENA, R.** *Compostaje de residuos sólidos orgánicos...* [en línea]. 2006, S.l.: Univesidad Autónoma de Barcelona. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>.

**BERNAL MP, ALBURQUERQUE JA, MORAL R.** Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 2009; 100: 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027> PMID: 19119002

**BOE**, Real decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. 164 de 10 de julio del 2013, pp.51119-5120

**BRINTON WF.** Compost quality standards and guidelines: an international view. Final report. 2000. New York State Association of Recyclers: New York, USA,.

**BUSTAMANTE MA, et al.,** Co-composting distillery wastes with animal manure: carbon and nitrogen transformations and evaluation of compost stability. *Chemosphere* 2008; 72: 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.030> PMID: 18466954

**BUSTAMANTE, Ma et al.,.** Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resour. Conserv. Recycl.* 2008; 52: 792–799.

**CAMPOS, E.,et al.,.** *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas.* 2004 Catalunya: s.n.

**CARCHI, D.** *Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa.* 2014. S.l.: Universidad de Cuenca.

**CAMPO-MARTÍNEZ, A., ET AL.,** Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la Meseta de Popayán. 2014. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79-87.

**CHIARI, P. F.** Efecto de las raciones verdes inoculadas con microorganismos de montaña en la producción y calidad de leche caprina. 2015 (Tesis de maestría). Escuela de Posgrado del CATIE, Costa Rica.

**DOCAMPO, R.** Compostaje y compost. 2013. *Revista INIA*, pp. 63–67.

**EC.** Ecological criteria to soil improvers. Commission Decision 2006/799/EC, 2006. Establishing Revised Ecological Criteria and the Related Assessment and Verification Requirements for the Award of the Community eco-Label to Soil Improvers. 2006. *Official Journal of the European Union*, L 325, 28–34

**ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY,** *Criteria for the Definition of Solid Waste and Solid and Hazardous Waste Exclusions* [en línea]. 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions>.

**EPAS,** Tecnología de bajo cost para la Gestión de Residuos Urbanos. [en línea]. 2015 S.l.: Disponible en: [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/22790/mod\\_resource/content/0/COMPOSTAJE.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/22790/mod_resource/content/0/COMPOSTAJE.pdf).

**ESPOCH.** *Datos generales de la institución.* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019. [Consulta: 29 julio 2019]. Disponible en: <https://www.espoch.edu.ec/index.php/espoch.html>

**FALLAS, D.** *Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada* [en línea]. 2016 S.l.: Universidad de Costa Rica. Disponible en: <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2017/05/Tesis-DiegoFallas.pdf>.

**FRANCA, F. ET AL.,** Tomato yield and quality under various combinations of organic compost. 2016. *Biosci. J.* 32, 1147–1154.

**FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE,** *Residuos sólidos* [en línea]. 2020. Lima: s.n. Disponible en: <https://fonamperu.org.pe/residuos-solidos/>.

**GADM RIOBAMBA.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Riobamba (2015-2030).* Riobamba-Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Riobamba, 2015

**GORDILLO, F. & CHÁVEZ, E.,** Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. 2018. S.l.: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

**IGLESIAS, E.;PEREZ,V.** Determination of maturity indices for refuse compost. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2002,38, pp. 331-343.

**JARA SAMANIEGO J, PÉREZ MURCIA MD, BUSTAMANTE MA, PAREDES J, PÉREZ ESPINOSA A, GAVILANES TERÁN I, ET AL.** *Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador* (July 20, 2017). Editor Robert Nerenberg, University of Notre Dame, United States. *PLoS ONE* 12(7): e0181621. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181621>

**KONDO S.** Producción agroecológica: Agricultura orgánica I. Documento técnico de PROPA-Oriente. MAG, El Salvador. 2015. Recuperado de [https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/booklet\\_01.pdf](https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/booklet_01.pdf)

**LASARIDI, K.E. & STENTIFORD, E.** A simple respirometric technique for assessing compost stability. 1998. *Elsevier Science*, vol. 32, no. 12, pp. 3717–3723. DOI 10.1016/s0043-1354(98)00143-2.

**LÓPEZ-CLEMENTE, X., et al.**, Propiedades físicas , químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. 2015. *Ergo Sum* [en línea], vol. 22, no. 2, pp. 145–152. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10439327005.pdf>.

**MADRID, F., LÓPEZ, R., CABRERA, F. and MURILLO, J.M.** Caracterización de los composts de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa ( Huelva ). 2001, vol. 16, no. 1.

**MARMOL, J. and LIVIAPOMA, R.,** Proyecto para la creación de una empresa dedicada a la fabricación de papel bond en base del bagazo de lacaña de azúcar, ubicada en el Valle del Chora, parroquia Ambuqui, Provincia de Imbabura y su distribución en la ciudad de Quito. 2014 S.l.: Universidad Politécnica Salesiana.

**MKHABELA, M.S. and WARMAN, P.R.** The influence of municipal solid waste compost on yield , soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. , 2005. vol. 106, pp. 57–67. DOI 10.1016/j.agee.2004.07.014.

**MONNI, S., PIPATTI, R. and SYRI, S.** *Global climate change mitigation scenarios for solid waste management*. 2006. S.l.: s.n. ISBN 4567890123456.

**NÚÑEZ, L.T.**, Marco institucional para incentivos ambientales. 2015. Ecuador: Registro Oficial. 387.

**OCHOA, O.,** Recolección y disposición final de los desechos sólidos, zona metropolitana. 2009. Caso: Ciudad Bolívar. ,

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.**, Los Fertilizantes y su uso. 2015 . S.l.:

**PAREDES C, et al.**, Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic waster.*Biol. Fert. Soil* 32.2000.

**PEREZ, M. et al.**, Caracterización química del compostaje de residuo de caña de azúcar en el sureste de México. 2011. *Interciencia*. 36,1, 45-52.

**PRADO, R.M., CAIONE, G., CAMPOS, C.N.S.** Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. 2013. *Appl. Environ. Soil Sci.* 581984. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/581984>.

**RAMÍREZ, C., et al.**, Efecto de dosis de nitrógeno , fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol ( *Solanum betaceum* Cav .) en etapa vegetativa. 2018. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 12, no. 1, pp. 31–40. DOI <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7469>.

**ROLZ, C et al.**, Windrow composting of sugarcane and coffee by products. 2010. *Sugar Tech.* 12, 1, 15-20.

**ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M. and PANTOJA, A.** Manual de compostaje del agricultor. 2013. Santiago de Chile: s.n. ISBN 9789253078448.

**SÁEZ, A., URDANETA, G. & JOHENI, A.** Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia* [en línea], 2014. pp. 121–135. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>.

**SATISHA GC & DEVARAJAN L.**Effect of amendments on windrow composting of sugar industry pressmud. 2007. *Waste Management* 27: 1083-1091

**STOFFELLA, P & GRAETZ, D.** Utilization of sugarcane compost as a soil amendment in a tomato production system. 2000. *Compost Sci. Util* 8, 210-214

**TILLEY, E., et al.,** Co-compostaje. *SSWM*. 2016[en línea]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/co-compostaje#:~:text=El co-compostaje es la,sólidos> (TILLEY et al.&text=Además%2C el proceso aerobio favorece,ello la eliminación de patógenos.

**TORRES, Á.** *Co-compostaje de Residuos ganaderos y vegetales*. Elche: 2017 Universidad Miguel Hernández.

**US COMPOSTING COUNCIL,** Field guide to compost use, 2001. [http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/1330/Field\\_Guide\\_to\\_Compost\\_Use.´df](http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/1330/Field_Guide_to_Compost_Use.´df).

**VILLAR, I.,** *Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos*. 2017. [en línea]. S.I.: Universita de Vigo. Disponible en: [http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/824/Estudio\\_de\\_la\\_dinamica\\_microbiana.pdf?sequence=1](http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/824/Estudio_de_la_dinamica_microbiana.pdf?sequence=1).

**ANEXO A.** Parámetros analizados durante el proceso de elaboración del compost de todos los tratamientos

TRATAMIENTO	PARÁMETRO	MUESTRAS								UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE ANÁLISIS
		1	2	3	4	5	6	7	8		
<b>PILA 1</b>	<b>T. Obtención</b>	0	33	54	72	97	130	171	182	Días	-
	<b>C.E.</b>	2,12	2,90	3,48	3,74	4,16	4,24	4,80	5,02	dS/m	Conductimetría
	<b>pH</b>	7,96	7,10	7,28	7,16	7,09	7,08	6,97	6,76	Unidades	Potenciométrico
	<b>M.O.</b>	71,87	67,40	65,78	60,20	57,96	55,84	52,09	47,68	%	Gravimétrico
	<b>NT</b>	0,88							1,26	%	Cálculo
	<b>P</b>	0,67							1,50	%	Cálculo
	<b>C/N</b>	44,39							22,00	Unid.	Cálculo
	<b>K</b>	0,14							0,18	%	Cálculo
	<b>T. Partícula</b>	<5							<3	cm	Cribado y Picado
	<b>Color</b>	Pardo Claro							Marrón Claro	-	Sensorial
	<b>Olor</b>	Amoni acal							Tierra de Bosque	-	Sensorial

	<b>IG</b>	14,29							82,63	%	Germinación /Elongación
<b>PILA 2</b>	<b>T. Obtención</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>54</b>	<b>72</b>	<b>97</b>	<b>130</b>	<b>171</b>	<b>182</b>	Días	-
	<b>C.E.</b>	2,86	3,79	4,15	4,43	4,92	5,65	6,01	6,30	dS/m	Conductimetría
	<b>pH</b>	7,12	7,10	7,03	7,01	7,00	6,99	6,70	6,53	Unidades	Potenciométrico
	<b>M.O.</b>	76,69	72,18	69,26	66,66	63,97	60,20	54,06	50,43	%	Gravimétrico
	<b>NT</b>	0,76							1,12	%	Cálculo
	<b>P</b>	0,70							1,48	%	Cálculo
	<b>C/N</b>	54,84							24,63	Unid.	Cálculo
	<b>K</b>	0,14							0,17	%	Cálculo
	<b>T. Partícula</b>	<6							<2	cm	Cribado y Picado
	<b>Color</b>	Marrón Claro							Café Oscuro	-	Sensorial
	<b>Olor</b>	Amoniacal							Tierra de bosque	-	Sensorial
		<b>IG</b>	14,09							>100	%

<b>PILA 3</b>	<b>T. Obtención</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>54</b>	<b>72</b>	<b>97</b>	<b>130</b>	<b>171</b>	<b>182</b>	Días	-
	<b>C.E.</b>	2,35	3,67	3,91	3,94	4,11	4,90	4,98	5,08	dS/m	Conductimetría
	<b>pH</b>	7,77	7,66	7,46	7,30	7,16	7,00	6,86	6,69	Unidades	Potenciométrico
	<b>M.O.</b>	71,31	66,04	64,78	62,06	60,26	58,25	55,73	51,94	%	Gravimétrico
	<b>NT</b>	0,72							1,08	%	Cálculo
	<b>P</b>	0,68							1,00	%	Cálculo
	<b>C/N</b>	53,83							26,45	Unid.	Cálculo
	<b>K</b>	0,15							0,17	%	Cálculo
	<b>T. Partícula</b>	< 5							<3	cm	Cribado y Picado
	<b>Color</b>	Marrón Oscuro							Café Oscuro	-	Sensorial
	<b>Olor</b>	Amo niacal							Tierra de Bosque	-	Sensorial
	<b>IG</b>	13,70							98,93	%	Germinación / Elongación

Realizado por: Rudy Ramos, 202

**ANEXO B: Recolección de los componentes para la elaboración del compostaje**

<p>La recolección del bagazo de caña fue inicialmente en la Parroquia Facundo Vela, Prov. Bolívar.</p>	
	
<p>Recolección del bagazo de caña</p>	<p>Ubicación del bagazo en el transporte</p>
<p>Después es transportada a la Ciudad de Riobamba, al centro de Acopio en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</p>	
	
<p>Desembarque del bagazo de caña en el Centro de Acopio-ESPOCH</p>	<p>Bagazo de caña listo y tapado para su uso</p>
	
<p>Residuos de Mercado</p>	<p>Estiércol de conejo</p>

**ANEXO C: Análisis iniciales para conocer la relación C/N del Bagazo de Caña**

	
<p>Recolección de la muestra para analizar</p>	<p>Preparación de la muestra</p>
	
<p>Colocación de la muestra en la estufa a 80 °C por 24 h.</p>	<p>Muestra deshidratada</p>
	
<p>En el laboratorio de Productos Naturales-F.C.-ESPOCH, se muele la muestra seca.</p>	<p>Después de tamizar la muestra, procedemos a pesar 1g para ingresar al DUMAS y esperar los resultados de la relación C/N</p>

## ANEXO D: Armado de las pilas de compostaje



- Se procede armar la pila 1, por capas de bagazo de caña y residuos de mercado.



- Se arma la pila 2, en capas de bagazo de caña, residuos de mercado y estiércol de conejo.



- Armado de la pila 3, por capas de bagazo de caña y residuos de mercado



- En cada pila se adiciona bagazo de caña, residuos de mercado hasta un peso determinado.(1tn)



Pilas armadas con una cantidad de:  
Pila 1: 500kg bagazo de caña-500Kg de residuos de mercado.  
Pila 2: 400kg de bagazo de caña- 800kg de residuos de mercado-200kg de estiércol de conejo.  
Pila 3: 350kg bagazo de caña-700Kg de residuos de mercado.

**Anexo E:** Control de temperatura, humedad, pH, volteo y toma de muestras de las pilas.

	
<p>Control de temperatura</p>	<p>Control de Humedad y pH.</p>
	
<p>Remoción para el volteo de pilas</p>	<p>Volteo de pilas</p>
	
<p>Volteos terminados</p>	<p>Muestras para análisis de Laboratorio</p>

**ANEXO F: Preparación de Microorganismos de montaña en medio líquido**



Agua Lluvia y Melaza diluida.



Preparación lista con los m.o. de montaña



Dilución lista, después de 15 días para adicionar en el compost.

**ANEXO G: Preparación de las muestras para ser analizadas**



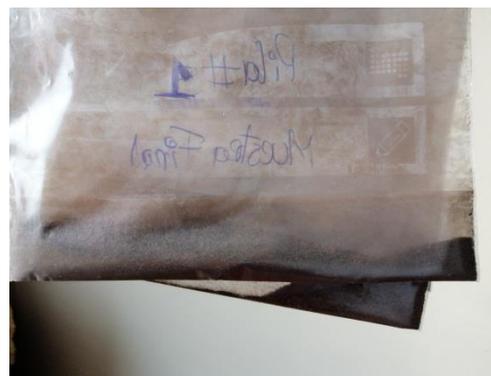
Peso de las muestras



Deshidratación de las muestras en la mufla



Moler las muestras



Muestras molidas

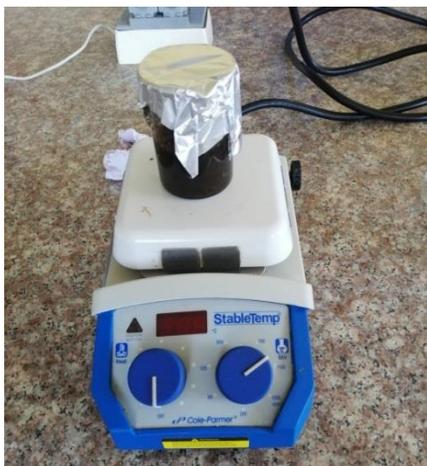
## ANEXO H: Medición de parámetros en los laboratorios



Pesaje de las muestras



Peso de los crisoles



Agitación de muestras



Filtración de muestras



Medición de pH



Medición de conductividad eléctrica

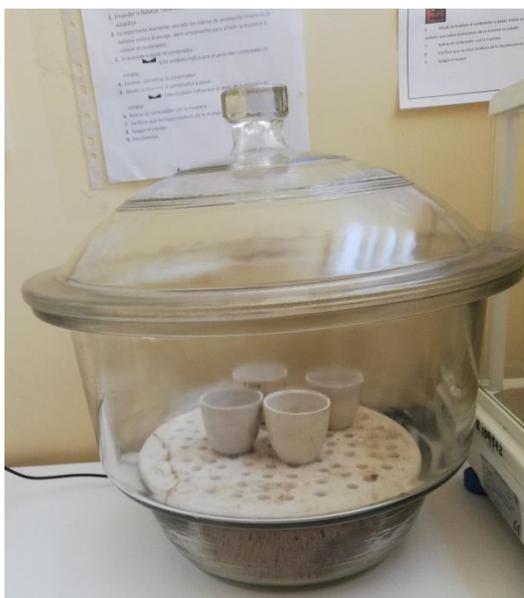
Continuación



Incineración de muestras para %MO



Muestras incineradas



Muestras incineradas en el desecador



Peso de muestras incineradas

## ANEXO I: Índice de Germinación



Obtención de muestras en solución



Preparación de Cajas Petri



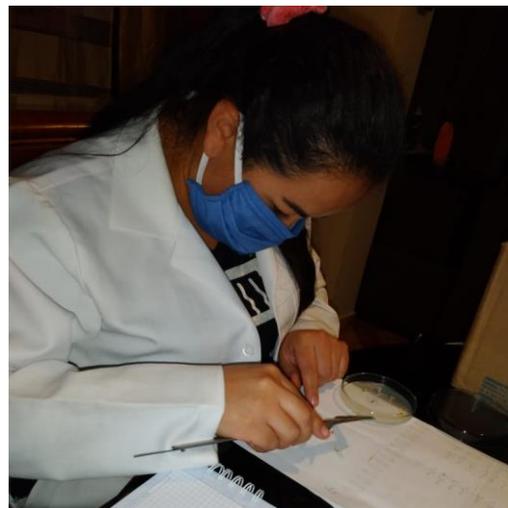
Colocación de las semillas de berro



Añadida de las muestras en solución



Incubación de las semillas



Medida de la elongación de las radículas

Continuación



Comparación de la Pila 1



Comparación de la Pila 2



Comparación de la Pila 3

**ANEXO J:** Fase final de los Tratamientos.



Etapa de maduración



Estiramiento y secado



Compost en la zaranda



Compost Finalizado



Centro de Acopio -Espoch

**ANEXO K: Análisis de C/N (Bagazo de Caña) en el laboratorio de GíDAC-Fac. Ciencias – ESPOCH**

Análisis iniciales:



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

*"Saber para Ser"*



**REPORTE DE RESULTADOS DE ANÁLISIS**  
**Analizador elemental orgánico Flash-2000**

Riobamba, 2 de diciembre del 2019

**Con atención:** Rudy Ramos.

**Estándar utilizado:** Sulfanilamida (Thermo Scientific),  
Contenido en porcentaje: C= 41.85%, N=16.26%, H=4.68%, S=18.62

**Resultados de análisis**

Muestra-s	Fecha	Hora	peso	%		
				N	C	H
R.L.R.F. M T	11/29/2019	11:58	3.84	1.253113508	47.88949585	5.682572842
STD Sulfanilamida prueba	11/29/2019	12:25	2.72	15.85390663	42.24208069	4.74305439

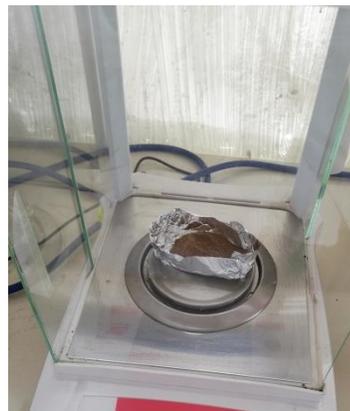
Atentamente.

Ing. José Luis Herrera R.  
Técnico de Investigación  
GIDAC-ESPOCH

**ANEXO L: Análisis Químicos (Kit N, P, K, La Motte) Digestión ácida-Espectrofotetría  
Digestión Ácida (Acido Sulfúrico Concentrado)**



- Kit N, P, K. La Motte adquirido



- Pesar las muestras iniciales y finales



- Colocamos la muestra en un vaso de precipitación y adicionamos 20ml de agua destilada.



- Adicionamos 2ml de Acido Sulfúrico concentrado



- Dejamos a ebullición por una hora en la cabina de extracción de gases.



- Después de enfriar, filtramos las muestras.



- Volvemos a poner a ebullición aproximadamente unas 6 horas.



- Dejamos enfriar y adicionamos fenolftaleína(gotas)



- Aforamos a 25 ml con agua destilada



- Para neutralizar el ácido adicionamos hidróxido de sodio 0.1N



- Conjuntamente para que el pH suba se sigue adicionando NaOH a 0.1N hasta que alcance 2.00.



- Al alcanzar el pH, el volumen alcanza a 80ml

## Espectrofotometría



- Para cada parámetro se procede según las instrucciones con el Kit de N,P,K.



- Muestras para analizar cada parámetro (N, P, K.)



- Lectura directa de absorbancia en el espectrofotómetro.

**Anexo M: Técnica para la Determinación de Materia Orgánica**

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS	PROCESO	CÁLCULO
<b>MATERIA ORGÁNICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Las muestras que se obtienen se caracterizan por tener compuestos inorgánicos y varios minerales como los fosfatos, cloruros, calcio, hierro, etc., para destruir todo el material orgánico presente en la muestra, por medio de incineración a temperaturas superiores a 400° C estos son eliminadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balanza analítica</li> <li>✓ Mufla</li> <li>✓ Estufa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Etiquetar el crisol de 15 o 50 mL y colocar en la mufla durante 2 horas a una temperatura de 105 °C.</li> <li>✓ Sacar el crisol de la mufla, dejar enfriar en el desecador por 30 min, luego pesar con una balanza analítica y anotar el valor.</li> <li>✓ Al crisol vacío añadir de 3 g de la muestra, pesar y anotar su valor</li> <li>✓ Colocar en la mufla por 24 horas a 430°C.</li> <li>✓ Sacar los crisoles y Colocarlos en el desecador por 30 minutos.</li> <li>✓ Pesar el crisol con la muestra calcinada anotando su valor.</li> <li>✓ Calcular el porcentaje de materia orgánica usando su expresión matemática.</li> </ul>	<p><b>ECUACIÓN:</b></p> $MO = \frac{G_1 - G_2}{G_1 - G_0} \times 100$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>MO</b>= Contenido de materia orgánica en porcentaje.</li> <li>✓ <b>G<sub>0</sub></b>: Peso en g del crisol vacío.</li> <li>✓ <b>G<sub>1</sub></b>: Peso en g del crisol más la muestra seca.</li> <li>✓ <b>G<sub>2</sub></b>: Peso en g del crisol más la muestra calcinada.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Para determinar el porcentaje de materia orgánica total se lo hace cuantificando el peso que se pierde como consecuencia de la incineración de la materia orgánica de la muestra al ser expuesta a elevadas temperaturas entre 400 a 550 °C en dependencia de las necesidades requeridas.</li> </ul>	<b>MATERIALES</b>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Crisoles</li> <li>✓ Espátula</li> <li>✓ Desecador</li> <li>✓ Guantes de nitrilo</li> <li>✓ Guante térmico</li> <li>✓ Pinza para crisol</li> </ul>		

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

**Anexo N:** Técnica para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS	PROCESO	CÁLCULO
<p><b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PH</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CE:</b> Se determina por análisis potenciométrico y se fundamenta en la disociación electrolítica y es utilizada en aguas o extracto de suelo y residuos sólidos, el instrumento consiste de dos electrodos de platino, que son introducidos en la solución para medir la capacidad de llevar la corriente eléctrica. +</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Multiparámetro de pH y CE</li> <li>• Centrífuga</li> <li>• Agitador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar de 3 a 4 g de la muestra.</li> <li>• Colocar en un vaso de precipitación de 100 mL.</li> <li>• Adicionar 30 o 40 ml de agua destilada (siempre se hace una proporción 1:10).</li> <li>• Agitar por 10 minutos vigorosamente.</li> <li>• Centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm.</li> <li>• Filtrar con papel filtro normal.</li> <li>• Ajustar los instrumentos de medición.</li> <li>• Introducir los electrodos del instrumento en la solución.</li> <li>• Realizar la medición de la conductividad eléctrica y pH.</li> <li>• Retirar los electrodos.</li> <li>• Lavar con agua destilada.</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>pH:</b> Se determina mediante análisis potenciométrico o electroquímico para determinar el pH de una muestra, es el más empleado para medir el potencial de un electrodo muy sensible a los iones H<sup>+</sup> presentes en la muestra problema, el pH es la unidad potenciométrica de medición, que indica el grado de acidez o alcalinidad.</li> </ul>	<p><b>MATERIALES</b></p>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra a evaluar</li> <li>• Probeta de 50mL</li> <li>• Tubos de ensayo</li> <li>• Vasos de precipitación de 100 mL</li> <li>• Papel filtro</li> <li>• Embudo Büchner</li> </ul>		

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

Anexo Ñ: Técnica para determinar el Índice de Germinación.

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS	PROCESO	CÁLCULO
<p><b>ÍNDICE DE GERMINACIÓN</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es una técnica usada para valorar las propiedades fitotóxicas de los residuos orgánicos o compost inmaduros.</li> <li>➤ Se basa en utilizar un extracto acuoso de los materiales orgánicos para evaluar la germinación y crecimiento de semillas de plantas de respuesta rápida como lo es el Berro (<i>Lepidium Sativum L.</i>), en la cual se compara estos valores con los obtenidos para un control con agua destilada, en el cual se puede saber el porcentaje de germinación de las semillas y el porcentaje de elongación de las raíces, obteniendo por multiplicación el Índice de Germinación (IG).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Balanza analítica</li> <li>➤ Autoclave</li> <li>➤ Centrífuga</li> <li>➤ Bomba de vacío</li> <li>➤ Incubadora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se pesa 3 g de muestra y se la humedece hasta alcanzar el 60% de humedad (4,5 mL de agua) Se deja en reposo durante 30 minutos.</li> <li>➤ Se añade 13,5 mL de agua des ionizada por gramo de muestra seca para diluir este extracto hasta el 10% (total 40,5 mL de agua). Agitar durante 30 minutos</li> <li>➤ Centrifugar a 4000 rpm durante 10 minutos.</li> <li>➤ Filtrar al vacío con papel de 0,45 micrómetros para esterilizar el extracto.</li> <li>➤ Colocar papel filtro en las cajas Petri (10 cajas por tratamiento).</li> <li>➤ Colocar 8 semillas de berro o rábano en cada caja.</li> <li>➤ Añadir 1mL de extracto acuoso de muestra mojando el papel en su totalidad.</li> <li>➤ Como tratamiento testigo o blanco en vez del extracto se añade agua des ionizada (10 cajas Petri).</li> <li>➤ Incubar las cajas Petri a 28°C por 48 horas, distribuyendo las placas en grupos de 5 y envolviéndolas con papel aluminio.</li> <li>➤ Se cuenta el número de semillas germinadas. PGR porcentaje de germinación relativo.</li> <li>➤ Con un pie de rey se mide la longitud de la elongación de las raíces por caja. CRR crecimiento de radícula relativo.</li> </ul>	<p><b>ECUACIÓN:</b></p> $IG = \frac{PGR - CRR}{100}$ $PGR = \frac{\text{N}^\circ \text{de semillas germinadas en el extracto}}{\text{N}^\circ \text{de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$ $CRR = \frac{\text{Elongación de radícula en el extracto}}{\text{Elongación de radícula en el testigo}} \times 100$ <p><b>Dónde:</b></p> <p><b>IG:</b> Índice de germinación.</p> <p><b>PGR:</b> Porcentaje de germinación relativo.</p> <p><b>CRR:</b> Crecimiento de radícula relativo.</p>
		<p><b>MATERIALES</b></p>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cajas Petri</li> <li>➤ Pipeta automática de 2mL</li> <li>➤ Tubos de ensayo</li> <li>➤ Papel filtro</li> <li>➤ Papel aluminio</li> <li>➤ Probeta de 50mL</li> <li>➤ Vasos de precipitación</li> <li>➤ Kitasato</li> <li>➤ Semillas de rábano o berro</li> <li>➤ Embudos Büchner</li> </ul>		

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

**Anexo O: Técnica para determinar Nitrógeno y Carbono**

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS	PROCESO	CÁLCULO
<p><b>NITRÓGENO Y CARBONO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ La agricultura con el paso de los años se ha convertido cada vez más en un sector económico de relevancia en todo el mundo.</li> <li>✚ El contenido óptimo de nutrientes y la cantidad de nutrientes debe ser la correcta ya que desempeña un papel determinante y a su vez independientemente esto trata de fertilizantes mixtos o de fertilizantes especiales, como fertilizantes nitrogenados, para garantizar un crecimiento óptimo de las plantas y no contaminar innecesariamente el medio ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Balanza analítica</li> <li>✚ Estufa</li> <li>✚ Thermo Scientific Flash 2000 organic elemental analyzer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ La muestra para analizar debe tener un tamaño de partícula inferior a 200um, se utilizan para analizar cantidades del orden de miligramos.</li> <li>✚ Las muestras previas a su análisis deben ser secadas en estufa por 4h a 105 °C.</li> <li>✚ Una fracción de cada muestra debe ser emplazada y sellada en una cápsula de estaño, la cual en el equipo analizador se dirige al reactor, donde luego de una combustión a 1800 y 900°C, los gases resultantes son transportados por helio a una columna cromatográfica donde se realiza la separación, y posterior detección.</li> <li>✚ Se usaron los estándares Sulfanilamida, y BBOT, de Thermo Sceintific para el control de calidad en el análisis, y para la curva de calibración respectivamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ La información recopilada fue procesada en el software acoplado al equipo Eager xperience V. 1.4 marzo 2014, desarrollado por Thermo Fisher Inc.</li> </ul>
		<p><b>MATERIALES</b></p>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Papel aluminio</li> <li>✚ Tamiz &lt;200 um</li> <li>✚ Cápsulas de estaño</li> </ul>			

Realizado por: Rudy Ramos, 2020

## ANEXO P: TÉCNICA PARA ANALISIS QUIMICOS-MACRONUTRIENTES N, P, K.

### MATERIALES

Contenido NPK Soil Kit (3- 5880):

- ✓ 100 Floc-Ex Testabs (5504a)
- ✓ 50 Nitrate Wide Range TesTabs (3703a)
- ✓ 50 Potassium Testabs (5424a)
- ✓ 50 Phosphorus Testabs (5422a)
- ✓ 3 Tubos De Ensayo Con Tapón (0106)
- ✓ 2 Fundas Protectoras (0106 F-P)
- ✓ 1 Tubo De Extracción Redondo (0725)
- ✓ 1 Escala Colorimétrica N, P, K. (1382)
- ✓ 1 Pipeta, Plástico (30444)

### EQUIPOS

- ✓ Espectrofotómetro Thermo Scientific
- ✓ Cabina de extractor de gases BIOBASE
- ✓ pH metro Fisher Scientific.

### REACTIVOS

- ✓ Ácido sulfúrico Concentrado
- ✓ Fenolftaleína
- ✓ Hidróxido de Sodio
- ✓ Peróxido de hidrogeno

#### *ESTANDARIZACIÓN DE RANGOS PARA ANALISIS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO.*

Para obtener los valores estándar para la lectura de cada elemento (N, P, K.) trabajar con Fosfato Monopotásico y Nitrato de Potasio.

- Para Fósforo y Potasio trabajar con  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- Pesar 0,2195g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- Calcular la ppm de P y para K

0.2195 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	30.974 g P	100mg	1000mL	99.93ppm	→	100ppm de P
500ml	136.072 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	1g	1L			

0.2195 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	39.098 g K	100mg	1000mL	126.14ppm	→	126 ppm de K
500mL	136.072 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	1g	1L			

- Sacar factores de dilución para los rangos de Absorbancia

Para fosforo.

ppm	Abs
12,5	0.106
25	0.182
50	0.383
100	0.762

Leer a 795 nm en el espectrofotómetro UV-VIS

Para Potasio

ppm	Abs
7,88	0,105
15,75	0,424
31,50	1,161
63	2,265

Leer a 860 nm en el espectrofotómetro UV-VIS

- Para nitrógeno trabajar con  $\text{KNO}_3$
- Pesar 0,7219 g de  $\text{KNO}_3$

- Calcular los ppm de N.

0.7218 g $\text{KNO}_3$	14 g N	100mg	1000mL	199.91 ppm	→	200ppm de N
500mL	101.098 g $\text{KNO}_3$	1g	1L			

- Sacar factores de dilución para los rangos de Absorbancia

Para Nitrógeno

ppm	Abs
6,25	0,211
12,5	0,398
25	0,771
50	1,500
100	2,883

Leer a 500 nm en el espectrofotómetro UV-VIS

**IMPORTANTE.** Con las tres tablas de valores de ppm y absorbancia con fórmulas de Excel obtener la línea de tendencia y la ecuación de la recta para tener el detalle de la intersección y la pendiente.

### DIGESTIÓN ÁCIDA

**NOTA:** Esta técnica se debe realizar para obtener valores totales de las muestras a analizar.

#### PROCEDIMIENTO

- Pesar las muestras 0,5g
- Adicionar 20ml de agua destilada
- Adicional 2ml de ácido sulfúrico concentrado
- Poner a ebullición por una hora en la cabina de extracción de gases.
- Enfriar
- Filtrar las muestras
- Volver a poner a ebullición con un aproximado de 6 horas.
- Colocar 2ml de peróxido de hidrogeno.
- Enfriar
- Adicionar gotas de fenolftaleína
- Para neutralizar adicionar hidróxido de sodio 0.1N gota a gota.
- Conjuntamente para que el pH suba se sigue adicionando NaOH a 0.1N hasta que alcance 2.00.

- Aforar a 80ml con agua destilada.

Para analizar en el espectrofotómetro

### 1. FÓSFORO

- 1.1. Utilizar la pipeta (30444), y transferir 25 gotas de la solución transparente al tubo cuadrado de ensayo (0106).
- 1.2. Colocar agua destilada en el tubo hasta llegar al hombro del mismo.
- 1.3. Añadir una pastilla de PHOSPHORUS TESTAB (5422A).
- 1.4. Tapar y mezclar hasta que la pastilla de disuelva.
- 1.5. Esperar 5 minutos.
- 1.6. Leer en el espectrofotómetro.

### 2. POTASIO.

- 2.1. Utilizar la pipeta (30444), para transferir la solución transparente obtenida en la extracción al tubo cuadrado (0106) hasta el hombro del mismo.
- 2.2. Añadir una pastilla de POTASSIUM TESTAB (5424A).
- 2.3. Tapar y agitar hasta que la pastilla disuelva.
- 2.4. Dejar reposar por 5 minutos.
- 2.5. Leer en el espectrofotómetro.

**NOTA:** Si se desea conocer los valores asimilables se puede realizar directamente sin el proceso de digestión acida para lo que su extracción sería la siguiente.

### 3. EXTRACCIÓN

Para la extracción de la muestra realizar lo siguiente:

- 3.1. Llenar el tubo de extracción redondo (0725) hasta llegar a 30ml con agua destilada.
- 3.2. Añadir dos tabletas FLOC-EX – TESTABS (5504).
- 3.3. Tapar el tubo y mezclar hasta que las pastillas se hayan disuelto.
- 3.4. Retirar el tapón y agregar 0.5 g de muestra.
- 3.5. Tapar el tubo y agitar por 1 minuto.
- 3.6. Dejar reposar hasta que la muestra se asiente.
- 3.7. La solución transparente obtenida utilizar para realizar los análisis potasio, fosforo y nitrato.

### 4. NITRÓGENO.

- 4.1. Utilizar la pipeta (30444), para transferir la solución transparente obtenida en la extracción al tubo cuadrado (0106) hasta el hombro del mismo.
- 4.2. Añadir una pastilla de NITRATE WIDE RANGE TESTAB (3703A).
- 4.3. Tapar el tubo y colocarlo en la bolsa protectora (0106-FP).

**Nota:** *NITRATE WIDE RANGE TESTAB (3703A) es muy sensible a la luz ultravioleta, la bolsa protectora (0106-FP) protegerá la reacción que produce la luz ultravioleta, si el proceso es realizado dentro de un lugar no es necesario dicho procedimiento.*

- 4.4. Mezclar invirtiendo el tubo por un tiempo de dos minutos, hasta q la pastilla colocada disuelva. Pueden quedar trozos de la pastilla en la mezcla.
- 4.5. Dejar reposar durante 5 minutos.
- 4.6. Leer en el espectrofotómetro.

### **CALCULOS**

Con los datos obtenidos aplicar la siguiente formula:

$$ppm = \frac{(Abs - Int)}{Pend} * FD * \frac{V.E}{Int}$$
$$\% = \frac{ppm}{10000}$$

Dónde:

**Abs**= absorbancia

**Int**= intersección

**Pend**= pendiente

**FD**= Factor de Dilución

**V.E**= Volumen de Extracto

**REALIZADO POR:** Rudy Ramos