



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**APROVECHAMIENTO DE CENIZA VOLCÁNICA COMO  
ESTIMULADOR EN EL PROCESO DEGRADATIVO DE  
MATERIA ORGÁNICA DE ORIGEN VEGETAL PARA LA  
OBTENCIÓN DE UN COMPOST**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: JONATHAN ANDRÉS MERINO FLORES**

**TUTORA: Dra. SUSANA DEL PILAR ABDO LÓPEZ**

Riobamba - Ecuador

2018

**©2018, Jonathan Andrés Merino 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.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **APROVECHAMIENTO DE CENIZA VOLCÁNICA COMO ESTIMULADOR EN EL PROCESO DEGRADATIVO DE MATERIA ORGÁNICA DE ORIGEN VEGETAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN COMPOST**, de responsabilidad del señor Jonathan Andrés Merino Flores, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE:**

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Susana del Pilar Abdo López  
**DIRECTORA DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. Alfonso Leonel Suárez Tapia  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Jonathan Andrés Merino Flores soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jonathan Andrés Merino Flores

## **DEDICATORIA**

A mis padres Nimia Flores y Marcelo Merino.

A mi hermano Wilmer Merino.

A toda mi familia.

A mis amigos.

**Andrés Merino**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a la Virgen de Agua Santa por las bendiciones que me han brindado durante toda mi etapa universitaria.

A mis padres Nimia y Marcelo por su amor incondicional, por todo su apoyo y sacrificios para que pueda culminar mis estudios.

A mi hermano Wilmer por ser ese ejemplo de superación, por el apoyo que me brinda, por su colaboración en todo momento de mi vida.

A toda mi familia que de una u otra manera supieron brindarme su apoyo a lo largo de mis estudios.

A Nataly Inca por el apoyo brindado, por la presión que me imponía cuando debía hacer algo, por los favores, colaboraciones y por su ayuda en mis análisis y estudios.

A la BQF. Graciela Guerrero quien en primera instancia trabajó conmigo en la realización de este trabajo.

A la DRA. Susana Abdo quien continuó en la elaboración de mi trabajo hasta concluirlo.

A la empresa Agrocalidad por sus consejos y facilidades para los análisis realizados.

A mis compañeros y amigos en especial : Andrea S., Cristian B., Gabriela M., Daniela M., Maricela G., Noemí C., Cristian G., y los demás, por compartir juntos los éxitos, fracasos, alegrías, tristezas, justicias, injusticias, fiestas, trabajos, locuras y demás vivencias durante nuestra época universitaria. GRACIAS MUCHACHOS.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera me brindaron su apoyo para la realización de esta investigación.

**Andrés Merino**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>Agrocalidad</b>	Agencia Nacional de Aseguramiento de la Calidad del Agro
<b>T1R1</b>	Tratamiento1 repetición 1 sin ceniza volcánica
<b>T1R2</b>	Tratamiento1 repetición 2 sin ceniza volcánica
<b>T1R3</b>	Tratamiento1 repetición 3 sin ceniza volcánica
<b>T2R1</b>	Tratamiento2 repetición 1 con ceniza volcánica al 5%
<b>T2R2</b>	Tratamiento2 repetición 2 con ceniza volcánica al 5%
<b>T2R3</b>	Tratamiento2 repetición 3 con ceniza volcánica al 5%
<b>T3R1</b>	Tratamiento3 repetición 1 con ceniza volcánica al 10%
<b>T3R2</b>	Tratamiento3 repetición 2 con ceniza volcánica al 10%
<b>T3R3</b>	Tratamiento3 repetición 3 con ceniza volcánica al 10%
<b>T4R1</b>	Tratamiento 4 repetición 1 con ceniza volcánica al 15%
<b>T4R2</b>	Tratamiento 4 repetición 2 con ceniza volcánica al 15%
<b>T4R3</b>	Tratamiento 4 repetición 3 con ceniza volcánica al 15%
<b>C/N</b>	Relación carbono/ nitrógeno
<b>CE</b>	Conductividad eléctrica
<b>cm</b>	Centímetros
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>ESPOCH</b>	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
<b>g</b>	Gramos
<b>H<sub>0</sub></b>	Hipótesis nula
<b>H<sub>1</sub></b>	Hipótesis alternativa
<b>IG</b>	Índice de germinación
<b>K</b>	Potasio

<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>mL</b>	Militros
<b>mS</b>	Milisiemens
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniaco
<b>P</b>	Fósforo
<b>P/V</b>	Relación peso - volumen
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>RSO</b>	Residuos Sólidos Orgánicos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>%H</b>	Porcentaje de humedad
<b>%MO</b>	Porcentaje de materia orgánica
<b>%P/P</b>	Porcentaje en peso
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>T</b>	Temperatura
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>µS</b>	Microsiemens
<b>UNACH</b>	Universidad Nacional de Chimborazo

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	2
OBJETIVOS.....	4

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

<b>1.1. Marco referencial .....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.2. Antecedentes de la investigación .....</i>	<i>5</i>
<b>1.2. Marco conceptual .....</b>	<b>6</b>
<i>1.2.1. Residuos Sólidos .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.1.1. Evolución histórica en la generación de residuos .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2. Que son los residuos Sólidos .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.3. Clasificación de los residuos sólidos .....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.3.1. Por su estado.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3.2. Por su origen.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3.3. Por su manejo .....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.4. Residuos sólidos orgánicos .....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.4.1. Según su fuente de generación.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.4.2. Según sus características físicas o naturaleza.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.5. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.6. Compostaje .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.6.1. Proceso del compostaje.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.6.2. Monitoreo durante el proceso de compostaje .....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.6.3. Sistemas de compostaje.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.6.4. Composteras.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.7. Compost.....</i>	<i>17</i>

1.2.7.1.	<i>Estabilidad del Compost</i> .....	17
1.2.7.2.	<i>Madurez del compost</i> .....	18
1.2.7.3.	<i>Tipos de compost</i> .....	18
1.2.7.4.	<i>Diferencias entre los tipos de compost</i> .....	18
1.2.7.5.	<i>Compostaje industrial y doméstico</i> .....	18
1.2.8.	<b><i>Bocashi</i></b> .....	19
1.2.9.	<b><i>Lombricomposteo</i></b> .....	20
1.2.10.	<b><i>Alimentación animal</i></b> .....	21
1.2.11.	<b><i>Biofertilizantes</i></b> .....	21
1.2.12.	<b><i>Biofermentos</i></b> .....	21
1.2.12.1.	<i>Problemática con los residuos sólidos</i> .....	21
1.2.13.	<b><i>Generación de residuos sólidos orgánicos a nivel mundial</i></b> .....	22
1.3.	<b><i>Ceniza Volcánica</i></b> .....	22
1.3.1.	<b><i>La ceniza y los suelos</i></b> .....	23
1.3.2.	<b><i>Ceniza del Volcán Tungurahua</i></b> .....	23
1.3.3.	<b><i>Beneficio de la ceniza</i></b> .....	24
1.3.4.	<b><i>Composición química de la ceniza</i></b> .....	24

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

2.1.	<b>Tipo y diseño de investigación.</b> .....	27
2.2.	<b>Población de estudio.</b> .....	27
2.3.	<b>Tamaño de la muestra.</b> .....	27
2.4.	<b>Selección de la muestra.</b> .....	27
2.5.	<b>Técnica de recolección de datos.</b> .....	27
2.6.	<b>Hipótesis</b> .....	28
2.7.	<b>Identificación de variables.</b> .....	28
2.7.1.	<b><i>Dependientes.</i></b> .....	28
2.7.2.	<b><i>Independientes.</i></b> .....	28

2.7.3.	<i>Indicadores</i> .....	28
2.8.	<b>Localización de la investigación.</b> ....	28
2.9.	<b>Metodología de la investigación</b> .....	29
2.9.1.	<i>Preparación del terreno</i> .....	29
2.9.2.	<i>Recolección de la materia prima</i> .....	29
2.9.3.	<i>Elección de la compostera</i> .....	31
2.9.4.	<i>Preparación de la materia prima</i> .....	32
2.9.5.	<i>Proceso de elaboración del compost</i> .....	33
2.9.6.	<i>Control del proceso de compostaje</i> .....	35
2.9.7.	<i>Volteos</i> .....	37
2.9.8.	<i>Maduración del compost</i> .....	38
2.9.9.	<i>Compost producto final</i> .....	39
2.10.	<b>Caracterización físico químicas, químicas y biológicas el compost obtenido</b> .....	40
2.10.1.	<i>Caracterización físico químicas.</i> ....	40
2.10.2.	<i>Caracterización química</i> .....	40
2.10.3.	<i>Caracterización biológica</i> .....	41
2.11.	<b>Materiales, instrumentos y herramientas utilizados</b> .....	43

### CAPÍTULO III

#### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1.	<b>Resultados de la investigación</b> .....	45
3.2.	<b>Parámetros de control durante el proceso de compostaje.</b> .....	48
3.2.1.	<i>Temperatura</i> .....	48
3.2.3.	<i>Humedad</i> .....	53
3.3.	<b>Parámetros físico-químicos</b> .....	55
3.4.	<b>Parámetros químicos</b> .....	56
3.4.1.	<i>Materia orgánica del compost</i> .....	57
3.4.2.	<i>Contenido de nitrógeno</i> .....	57
3.4.3.	<i>Contenido de Fósforo expresado en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> .....	57

3.4.4.	<i>Contenido de Potasio K<sub>2</sub>O</i> .....	58
3.4.5.	<i>Relación C/N final</i> .....	58
3.5.	<b>Parámetro biológico</b> .....	59
3.5.1.	<i>Índice de Germinación</i> .....	59
<b>CONCLUSIONES</b> .....		61
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		62
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## Índice de figuras

<b>Figura 1-1:</b> Clasificación de residuos orgánicos municipales por su fuente.....	8
<b>Figura 2-1:</b> Fases del proceso de compostaje.....	12
<b>Figura 3-1:</b> Cajón de madera .....	15
<b>Figura 4-1:</b> Cajón con bloques de concreto .....	15
<b>Figura 5-1:</b> Cajones combinados .....	16
<b>Figura 6-1:</b> Cajones en pendiente .....	16
<b>Figura 1-2:</b> Elaboración de terrazas .....	29
<b>Figura 2-2:</b> Recolección de residuos orgánicos .....	30
<b>Figura 3-2:</b> Recolección de ceniza volcánica.....	30
<b>Figura 4-2:</b> Compostera .....	32
<b>Figura 5-2:</b> Clasificación de residuos .....	32
<b>Figura 6-2:</b> Trituración de la materia prima.....	33
<b>Figura 7-2:</b> Levantamiento de composteras.....	34
<b>Figura 8-2:</b> Preparación del techo.....	34
<b>Figura 9-2:</b> Techo terminado para proteger las composteras.....	35
<b>Figura 10-2:</b> Termómetro y puntos de medición .....	36
<b>Figura 11-2:</b> Medidor de pH y Humedad.....	37
<b>Figura 12-2:</b> Puntos de toma de muestras en volteos.....	38
<b>Figura 13-2:</b> Etapa de maduración.....	38
<b>Figura 14-2:</b> Malla para cernir el material .....	39
<b>Figura 15-2:</b> Material final tamizado, compost obtenido.....	39
<b>Figura 16-2:</b> Índice de germinación.....	42

## Índice de gráficos

<b>Gráfico 1-3:</b> Comparación de temperaturas promedio entre los cuatro tratamientos durante el proceso de compostaje .....	50
<b>Gráfico 2-3:</b> Comparación de pH promedio entre los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje. ....	52
<b>Gráfico 3-3:</b> Comparación de humedad promedio entre los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje. ....	54

## Índice de tablas

<b>Tabla 1-1:</b> Parámetros de humedad.....	12
<b>Tabla 2-1:</b> Valores de relación C/N de materiales orgánicos.....	13
<b>Tabla 3-1:</b> Comparación entre el proceso de bocashi y del compostaje.....	19
<b>Tabla 4-1:</b> Valores de calidad para el humus.....	20
<b>Tabla 5-1:</b> Composición de residuos sólidos orgánicos municipales de América Latina y el Caribe.....	22
<b>Tabla 6-1:</b> Composición química de la ceniza volcánica del volcán Pichincha, 1999.....	25
<b>Tabla 7-1:</b> Composición química de la ceniza volcánica del volcán Tungurahua, 1999.....	26
<b>Tabla 1-2:</b> Composición química de la ceniza volcánica utilizada en la investigación.....	31
<b>Tabla 2-2:</b> Materiales e instrumentos utilizados para la recolección de la materia prima.....	43
<b>Tabla 3-2:</b> Instrumentos y Herramientas utilizados para la construcción del techo.....	43
<b>Tabla 4-2:</b> Materiales, Instrumentos y Herramientas utilizados para el proceso de compostaje.....	44
<b>Tabla 1-3:</b> Parámetros analizados del compost obtenido con los cuatro tratamientos.....	45
<b>Tabla 2-3:</b> Factores del estudio.....	46
<b>Tabla 3-3:</b> Cuadro de análisis de varianza ANOVA.....	47
<b>Tabla 4-3:</b> Cuadro de medias de parámetros físico-químicos.....	55
<b>Tabla 5-3:</b> Cuadro de medias de parámetros químicos.....	56
<b>Tabla 6-3:</b> Cuadro de medias de parámetro biológico.....	59

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo aprovechar la ceniza volcánica como estimulador en la degradación de materia orgánica vegetal para obtener compost, se aprovechó un terreno con pendiente adecuándolo con la construcción de terrazas, para el proceso de compostaje se utilizó un sistema de composteras construidas de madera y malla metálica (1x1x1 m), se levantaron 12 composteras ya que se trabajó con cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los residuos vegetales se recogieron durante un mes, la ceniza volcánica se recolectó al pie del volcán Tungurahua a 2800 msnm. Para arrancar con el proceso de compostaje se trituró la materia prima reduciendo su tamaño entre 5 y 10 cm, la relación C/N de partida se analizó con una muestra inicial dando como resultado (T1= 27,06/1 T2= 25,96/1 T3=26,71/1 T4=28,38/1), para proteger las composteras de las lluvias se construyó una cubierta, en el proceso se controlaron parámetros como temperatura, pH, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, realizando volteos cuando se los necesitaba y recolectando muestras en cada uno. El producto final se lo obtuvo en 152 días, para determinar su calidad se realizó análisis físico químicos (**Humedad:** T1= 46,51% T2= 45,05% T3=45,88% T4= 44,89%; **pH:** T1= 7,24 T2= 7,43 T3=7,49 T4= 7,26; **CE:** T1= 2,88 mS/cm T2= 2,50 mS/cm T3=1,75 mS/cm T4= 1,65 mS/cm) químicos (**MO:** T1= 78,36% T2= 77,97% T3= 78,93% T4= 74,44% ; **NPK:** (T1= 1,77% 0,88% 4,28% T2= 1,66% 0,66% 3,96% T3= 1,67% 0,43% 2,95% T4= 1,47% 0,37% 2,85%) orgánicos (**Índice de Germinación:** T1= 89,87% T2= 90,83% T3= 91,41% T4= 89,21%). Determinando que los parámetros están dentro de los valores de aceptación reportados en investigaciones relacionadas con el compost, concluyendo que se obtuvo un producto de buena calidad con cada tratamiento, pudiendo ser utilizado con fines agrícolas o comerciales, recomendando realizar otros tratamientos con un sistema de aireación forzado.

**PALABRAS CLAVE:** <BIOTECNOLOGÍA> <APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS> <COMPOSTAJE> <ABONO ORGÁNICO> <CENIZA VOLCÁNICA> <RESIDUOS ORGÁNICOS VEGETALES> <COMPOST>

## ABSTRACT

The present research aimed to take advantage of volcanic ash as a stimulator in the degradation of organic plant matter to obtain compost, it took advantage of a slope terrain adapting it with the construction of terraces, for the composting process was used a system of composters built of wood and metal mesh (1x1x1 m), 12 composters were raised since it was made with four treatments with three repetitions each. The vegetal residues were collected during a month, the volcanic ash was collected at the foot of the Tungurahua volcano at 2800 masl. To start with the composting process the raw material was crushed reducing its size between 5 and 10 cm, the starting C / N ratio was analyzed with an initial sample resulting in (T1 = 27.06 / 1 T2 = 25.96 / 1 T3 = 26.71 / 1 T4 = 28.38 / 1), to protect the compost from the rains a cover was built, in the process parameters such as temperature, pH, humidity, electrical conductivity, organic matter were controlled turning around when needed and collecting samples in each one. The final product was obtained in 152 days, to determine its quality physical chemical analysis was performed (**Humidity**: T1 = 46.51% T2 = 45.05% T3 = 45.88% T4 = 44.89%; **pH**: T1 = 7.24 T2 7.43 T3 = 7.49 T4 = 7.26, **CE**: T1 = 2.88 mS / cm T2 = 2.50 mS / cm) T3= 1,75 mS/cm T4= 1,65 mS/cm) chemicals, (**MO**: T1=78,36 %, T2=77,97% T3= 78,93% T4=74,44%; **NPK** : (T1=1,77% 0,88% 4,28% T2= 1,66% 0,66% 3,96% T3=1,67% 0,43% 2,95% T4= 1,47% 0,37% 2,85%) organic ( **Germination index**: T1= 89,87% T2=90,83% T3= 91,41% T4=89,21%). Determining that the parameters are within the values of acceptance reported in research related to the compost, it was concluded that a product of good quality was obtained with each treatment, it can able to be used for agricultural or commercial purposes, recommending other treatments with a forced aeration system.

**Key Words:** <BIOTECHNOLOGY> <HARVESTING SOLID WASTE> <COMPOSTING>  
<ORGANIC FERTILIZER> <VOLCANIC ASH> <ORGANIC WASTE> <COMPOST>

## INTRODUCCIÓN

La actividad volcánica es un fenómeno natural que ocurre de manera inesperada, este fenómeno es una fuente de contaminación para el aire debido a los gases que son expulsados a la atmosfera, al agua y el suelo.

Un peligro volcánico es aquel proceso que puede representar cierta amenaza para la vida del hombre, se espera que ocurra en un determinado tiempo, afectando áreas territoriales cercanas a los volcanes, la vegetación también puede resultar muy afectada a consecuencia del evento eruptivo; la ceniza arrojada en las erupciones se acumulan sobre la vegetación, pudiendo romper o doblar ramas de los árboles, en especial si sus hojas son de gran tamaño con capacidad de acumular gran cantidad de este material (González, 2006, p.3)

Los territorios que resultan afectados por el material arrojado en las erupciones sufren cambios los cuales repercuten en la regeneración de la vegetación que resulta afectada, el suelo existente antes de las erupciones es recubierto por el nuevo material el cual se somete a procesos de meteorización. Sobre los depósitos de ceniza las condiciones de generación del suelo puede ser favorable para la regeneración vegetal rápida (Benson, 2005, p.443)

Ecuador es un país con un número considerable de volcanes activos e inactivos, el volcán Tungurahua es uno de los más activos del país siendo este el que mayor número de erupciones ha tenido en los últimos años, obligando a las poblaciones aledañas a adaptarse y vivir con este problema, ya que muchas veces sus cultivos han sido estropeados o quemados por la materia que emana, teniendo que volver a sembrar el producto perdido o bien probando con otros más resistentes al material volcánico.

La ceniza es uno de los componentes que más molesta a los agricultores, ganaderos y a las poblaciones que viven a las faldas del volcán ya que también genera enfermedades sino se tienen las debidas precauciones, debido a que la ceniza es una partícula liviana, esta desde el momento que sale del volcán en forma de hongos o penachos es transportada por el viento a distintas provincias afectando así a más sectores agrícolas, por lo cual nace la necesidad de conocer si la ceniza también puede ser favorable para el sector agrícola por su composición química y la capacidad que tiene de retener la humedad en el suelo.

Con las caídas de ceniza del volcán Tungurahua se han visto afectados los cultivos y ganado en las zonas cercanas al volcán como Juive, Pondo y Baños que resultaron las más afectadas por este fenómeno, sin embargo los inconvenientes de la ceniza fueron superados con éxito y

aprovechados para la agricultura, ya que esta era juntada y entregada al Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP) para su uso como un abono natural (Mora, 2014, p.1)

En cuanto a otra problemática que se da en cada ciudad del país es la producción de residuos sólidos, los cuales terminan por ser mezclados tanto los generados en los hogares, empresas, instituciones educativas, hospitales, etc. Estos residuos al ser mezclados provocan problemas al ambiente por el manejo inadecuado de los residuos sólidos que en la mayoría de los casos se producen por la falta de educación e interés de realizar una separación en la fuente y dar a los residuos la oportunidad de un aprovechamiento como materia prima para nuevos productos como abonos.

Por lo antes mencionado, este trabajo busca aprovechar tanto la ceniza volcánica y los residuos sólidos de origen vegetal que se genera en el mercado 5 de Junio y en el mercado municipal de la ciudad Baños de Agua Santa provincia de Tungurahua, para mezclarlos y obtener un compost de calidad, y demostrar que la ceniza volcánica puede ser usada en el proceso de compostaje, aprovechando así un residuo natural.

## **JUSTIFICACIÓN**

Rosa Hernández, investigadora de la Universidad Autónoma de Puebla, México, comenta que la ceniza volcánica es la base para la aparición de suelos, lo que resulta muy benéfico para las plantas, pero todo dependerá de la cantidad que esta caiga (BUAP, 2012, p.1).

Las cenizas tienen una capacidad de retener el agua muy elevada, lo que puede ser aprovechada por los microorganismos del suelo para poder desarrollar su rol de degradación de materia orgánica de una manera más óptima (BUAP, 2012, p.1).

En los procesos que ocurren sobre el suelo, mientras más organismos se encarguen de descomponer los elementos que posee la ceniza, las plantas podrán aprovechar de mejor manera sus nutrientes, ya que por otra parte si los elementos de la ceniza se mantienen como elementos complejo no podrían ser utilizados (Ruiz, 2012, p. 1).

Las plantas consumen elementos como nitrógeno, fósforo y potasio los cuales son esenciales para que puedan desarrollarse, pero además de estos elementos también necesitan manganeso, magnesio, boro, vanadio y silicio los cuales se van agotando por el uso agrícola, estos elementos son añadidos nuevamente por la ceniza volcánica (Martínez, 2012, p. 1).

En los pueblos aledaños al volcán Tungurahua muchos de los nuevos cultivos han sido de mejor calidad después de haber sido sembrados en suelos que han sido mezclados con ceniza luego de una erupción, es por esto que surge el interés por saber si esta sustancia volcánica ayuda al suelo a mejorar sus propiedades y a los microorganismos a una mayor y mejor degradación de materia orgánica.

El Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca MAGAP, asegura que la ceniza volcánica puede ser utilizada como abono para los suelos gracias a sus propiedades, por este motivo solicita a los sectores afectados que se junte la ceniza y se la entregue al MAGAP a cambio de rechazo de banano para el ganado que resultó afectado por la emisión de ceniza (Macas, 2003, p.1).

En la mayoría de los hogares no existe la necesidad de clasificar los residuos sólidos ya que para muchos solo se trata de basura, de aquí la importancia de saber darles un uso a los residuos orgánicos aprovechándolos como una fuente de alimento para los cultivos.

Por este motivo se desea conocer de qué manera influye la ceniza volcánica en la acción de los microorganismos, siendo estos los principales componentes en el producto final del compostaje; de este modo se espera que sea de buena calidad y cumpla con los parámetros establecidos para su uso.

El presente trabajo constituye un aprovechamiento de la ceniza volcánica como estimulador en el proceso degradativo de materia orgánica en la elaboración de un compost en base a la recolección de residuos sólidos domésticos, bajo las condiciones ambientales del medio, conforme las líneas de investigación y perfil profesional de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## **OBJETIVOS:**

### **GENERAL:**

Aprovechar la ceniza volcánica como estimulador en el proceso degradativo de materia orgánica de origen vegetal para la obtención de un compost.

### **ESPECÍFICOS:**

- Analizar y clasificar inicialmente la materia orgánica vegetal y la ceniza volcánica para determinar la relación C/N inicial del proceso.
- Obtener un compost mediante la recolección de materia orgánica de origen vegetal y ceniza volcánica como estimulador del proceso.
- Evaluar el compost obtenido a través de análisis físico-químico, químico y biológico para determinar cuál porcentaje de ceniza volcánica ayuda a mejorar su calidad.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Marco referencial

#### *1.1.2. Antecedentes de la investigación*

Amy Austin, profesora de Ecología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, ha dirigido dos trabajos de intensificación en dicha institución, los cuales arrojaron resultados sobre un tema que no es muy conocido, el impacto que ocasiona una erupción volcánica en la fauna del suelo y los procesos ecosistémicos, en estos trabajos se estudiaron como la ceniza afecto a los microorganismos y los servicios que estos brindan al suelo, por ejemplo descomposición de materia orgánica, determinando que la ceniza habría causado un efecto benéfico en el ecosistema, según dijeron los investigadores a cargo del trabajo (Berenstecher & Gangi, 2016, p.1).

Dependiendo de los componentes químicos y de las condiciones climáticas la ceniza volcánica puede enriquecer los suelos y generar un beneficio a las plantas a corto mediano y largo plazo, esto lo dijo Alejandro Cebada, director de la escuela de Biología (BUAP). Además dijo que los habitantes de las ciudades pueden juntar la ceniza y mezclar con tierra para sus macetas o también utilizarlo en composta (BUAP, 2012, p.1).

Mora dice que la transformación de la ceniza volcánica en abono es sencilla ya que solo se requiere mezclarla con materia orgánica, estiércol reposado y agua.(Mora, 2014,p.1)

(Zea,2015, p.1), mencionó que la ceniza proveniente del volcán Popocatépetl no debe verse como bicho extraño en tierras agrícolas, ya que todo la ceniza que arroja es benéfico para los suelos funcionando como un abono natural, afirmo que las cenizas que caen en tierras fértiles aumentan la producción.

## **1.2. Marco conceptual**

### ***1.2.1. Residuos Sólidos***

#### *1.2.1.1. Evolución histórica en la generación de residuos*

Desde épocas antiguas la especie humana ha generado residuos sólidos sin saber lo que hacían, ya que siempre han explotado los recursos naturales que se encuentran a su alcance, con el origen de la agricultura y ganadería el ser humano aprendió a independizarse de los recursos que la naturaleza les proporcionaba, evitando así las constantes movilizaciones en busca de los recursos para subsistir (Alcaide, 2012, p.2).

Debido a que permanecían en un solo lugar el número de habitantes empezaba a crecer y con ello la generación de residuos sólidos también aumentaba, todos los residuos que generaban se depositaban en su entorno los cuales al ser de origen orgánico no generaban problemas y se incorporaban nuevamente a la naturaleza (Alcaide, 2012, p.2).

Por otra parte las grandes concentraciones humanas ocasionaban que la generación de residuos y su falta de gestión comenzara a ser de enorme preocupación, por lo que puede asumirse que la proliferación de las basuras es un fenómeno que surgió con las enormes acumulaciones humanas y su manera de vivir (Alcaide, 2012, p.2).

#### ***1.2.2. Que son los residuos Solidos***

Es considerado como cualquier objeto, sustancia, material resultante del consumo o aprovechamiento en actividades domésticas, agrícolas, industriales e institucionales, cuyo generador abandona o rechaza y que es aprovechado para un nuevo bien con un valor económico (Valderrama, 2013, p.15).

#### ***1.2.3. Clasificación de los residuos sólidos***

A los residuos sólidos se los puede clasificar de distintas forma, ya sea por el origen o por el manejo que se le puede dar.

#### *1.2.3.1. Por su estado*

Un residuo se clasifica por su estado dependiendo del estado físico en que se encuentra por lo cual existen tres tipos que son sólido, líquido y gaseoso (Jaramillo & Zapata, 2008, p.25).

#### *1.2.3.2. Por su origen*

**Residuos sólidos urbanos:** aquí entra la basura doméstica, su generación depende del estatus económico de las viviendas, hábitos de consumo y desarrollo tecnológico.

**Residuos industriales:** la cantidad de residuos generados depende de la tecnología que se utiliza en los procesos productivos (Jaramillo & Zapata, 2008, p.25).

**Residuos inertes:** se refiere a los escombros, es estable en el tiempo, no produce efectos ambientales al entrar en interacción con el ambiente.

**Residuos radioactivos:** aquellos que emiten radiación.

**Residuos sólidos y peligrosos:** estos deben cumplir características que se establecen en normas ambientales y deben seguir un proceso de tratamiento, eliminación específica o recuperación.

**Residuos mineros:** se incluyen a todos los materiales producto de las excavaciones para el acceso a minas.

**Residuos hospitalarios:** aquellos que resultan de los trabajos de investigaciones clínicas.

#### *1.2.3.3. Por su manejo*

**Residuo peligroso:** son aquellos que por su naturaleza son de alto riesgo al ser manipulados ya que pueden causar enfermedades, la muerte y daño al ambiente cuando no se los manipula de manera adecuada (Jaramillo & Zapata, 2008, p. 26).

**Residuo inerte:** son estables en el tiempo.

#### *1.2.4. Residuos sólidos orgánicos*

Son aquellos provenientes de productos orgánicos en su mayoría son biodegradables, pueden degradarse a una gran velocidad y transformarse en otro tipo de materia orgánica. Algunos ejemplos de este tipo de residuos son restos de comida, restos de frutas, restos vegetales, carne, papel, cartón etc (Jaramillo & Zapata, 2008, p.27).

Estos pueden clasificarse:

#### 1.2.4.1. Según su fuente de generación

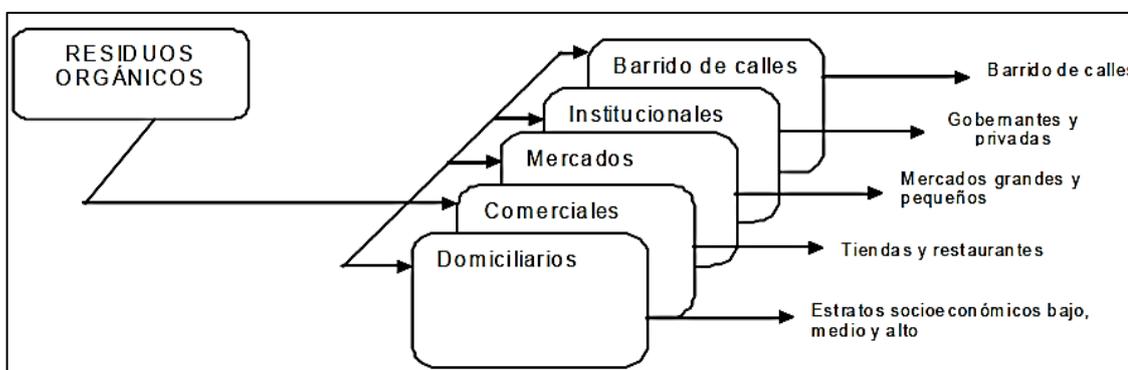
**Provenientes del barrido de las calles:** dentro de este grupo también se incluye a los residuos que se almacenan en papeleras públicas, pueden encontrarse en este grupo desde restos frutales hasta plásticos y papeles de todo tipo, su aprovechamiento es limitado.

**Residuos sólidos orgánicos institucionales:** aquellos residuos provenientes de instituciones gubernamentales y privadas, en su mayoría contiene papel, cartón y residuos de alimentos de los comedores.

**Residuos sólidos de mercados:** provienen de mercados de abastos y demás locales de comerciales, son una buena fuente de residuos orgánicos para utilizar en la elaboración de fertilizantes naturales y compost.

**Residuos sólidos orgánicos de origen comercial:** provienen de establecimientos comerciales como restaurantes y tiendas, por ser una fuente de alimento de animales porcinos requiere un tratamiento especial (Jaramillo & Zapata, 2008, p.27).

**Residuos sólidos orgánicos domiciliarios:** provienen de los hogares, sus características son variadas ya que generalmente incluyen restos de comida, frutas, verduras, poda de jardines y papeles.



**Figura 1-1:** Clasificación de residuos orgánicos municipales por su fuente

Fuente: (Jaramillo & Zapata, 2008, p.27).

#### 1.2.4.2. Según sus características físicas o naturaleza

**Residuos alimenticios:** restos de alimentos de distintas fuentes como comedores, restaurantes, y otros locales expendedores de alimentos.

**Estiércol:** excremento de animales, especialmente del ganado que es aprovechado para la obtención de abonos y biogás.

**Restos vegetales:** estos residuos resultan de la poda de jardines y céspedes, en parques y áreas verdes.

**Cuero:** en su mayoría son derivados de materiales de cuero usado.

**Papel y cartón:** estos residuos poseen un gran potencial reciclable.

**Plástico:** se consideran como residuos cuyo origen es orgánico fabricados a partir de compuestos orgánicos como el etano y el petróleo (Jaramillo & Zapata, 2008, p.28).

### *1.2.5. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos*

Aprovechar los residuos implica realizar un procedimiento con el fin de obtener un subproducto u otro producto del cual se puede adquirir un ingreso económico, el proceso implica seguir una serie de pasos en el cual la materia prima son los residuos sólidos en especial los orgánicos. El aprovechamiento de los residuos se debe realizar siempre y cuando sea técnicamente factible, económicamente viable y ambientalmente conveniente (Jaramillo & Zapata, 2008, p.34).

Algunos ejemplos a describir del tipo de subproductos que se pueden obtener al reutilizar los residuos sólidos orgánicos son los siguientes:

### *1.2.6. Compostaje*

El compostaje es un proceso aerobio que consiste en la degradación de materia orgánica reunida o aglomerada en la cual la temperatura aumenta de manera controlada, se realiza por los microorganismos los cuales están presentes en todo el proceso para obtener un abono denominado compost (UAESP, s.f, p. 37-77).

Es un procedimiento de degradación que se controla y realiza por microorganismos benéficos, los cuales a temperatura adecuada, presencia de humedad y condiciones aerobias, usan los nutrientes que posee el material a transformar, hasta que finalmente se obtiene un producto homogéneo al cual se lo denomina compost, que ya en este punto se encuentra libre de patógenos y también estabilizado fisicoquímicamente (Palález D & Restrepo G, 2004, p.5 ).

#### *1.2.6.1. Proceso del compostaje*

En el proceso de compostaje intervienen tres fases distintas que van a depender de la temperatura en que las pilas se encuentren, estas temperaturas irán variando conforme el proceso vaya avanzando, serán controladas por los distintos microorganismos que actúan en el proceso ya que para cada una de ellas su temperatura optima le ayudara a realizar de manera adecuada sus funciones de degradación de la materia orgánica.

Los microorganismos en presencia de oxígeno aprovechan el carbono y el nitrógeno para producir su propia biomasa, al descomponer el carbono, el nitrógeno, y la materia orgánica, los microorganismos desprenden calor que puede ser medida por las variaciones de temperatura al pasar el tiempo, dependiendo de esta temperatura se conocen cuatro etapas en el proceso (Román et al. 2013, p. 23-94).

**Fase mesófila:** con el material orgánico ya reunido el proceso comienza con una temperatura igual a la ambiente, aquí los microorganismos empezaran a multiplicarse de modo acelerado, en pocos días incluso horas la temperatura empieza a elevarse de manera rápida, esto se debe a que los microorganismos presentes han empezado con el proceso de descomposición de la materia orgánica utilizando las fuentes de carbono y nitrógeno para producir calor, debido a que la temperatura ha empezado a elevarse se genera la aparición de ácidos orgánicos que hacen que los valores de pH bajen (Picado & Añasco, 2005, pp. 19-23).

**Fase termófila:** esta fase también es conocida como la fase de higienización, cuando el material utilizado ya supera los 45°C los microorganismos mesófilos son remplazados por otros microorganismos capaces de desarrollarse a estas temperaturas más elevadas, especialmente bacterias termófilas, las cuales tienen la función de degradar fuentes de carbono más complejas (Román et al. 2013, p. 23-94).

También aquí las bacterias se encargan de transformar el nitrógeno en amoníaco haciendo que los valores de pH suban, esta fase dura unos días hasta meses, dependiendo del material con el que se inició el proceso, del lugar y condiciones climáticas, se denomina fase de higienización debido a que a los 60 °C el calor que se genera elimina patógenos como bacterias de origen fecal, además de semillas que pudieron encontrarse en el material inicial (Román et al. 2013, p. 23-94).

**Fase de enfriamiento:** aquí la temperatura nuevamente desciende a los 40-45 °C, debido a que se han agotado las fuentes de carbono y nitrógeno, algunos hongos aparecen, al bajar la temperatura de los 40°C los microorganismos mesófilos nuevamente empiezan actuar y el pH baja ligeramente aunque se mantiene un poco alcalino, esta fase dura unas semanas (Román et al. 2013, p. 23-94).

**Fase de maduración:** esta fase puede durar meses y se mantiene a una temperatura ambiente, aquí se van a producir una serie de reacciones secundarias de polimerización y de condensación, para la formación de ácidos fúlvicos y ácidos húmicos (Román et al. 2013, p. 23-94).

Durante el proceso de maduración del compost ocurrirán diversas reacciones bioquímicas que aumentan la humificación para lograr una materia orgánica mucho más estable y con mejores propiedades biológicas, físicas y químicas, el objetivo de la etapa de maduración es lograr

obtener valores ideales en parámetros como: relación C/N: 12-15, pH= 7,5, olor agradable, a mantillo o tierra de monte, color pardo oscuro, textura suelta y granulosa (Suárez, 2012, p. 91).



Figura 2-1: Fases del proceso de compostaje

Fuente: (Taboeda et al. 2009, p. 1)

#### 1.2.6.2. Monitoreo durante el proceso de compostaje

Para un correcto proceso de compostaje se deben controlar ciertos parámetros importantes para un buen desarrollo del mismo, los parámetros que deben ser controlados se describen a continuación.

**Oxígeno:** cuando existe una aireación que es menor al 5% el agua va a tener dificultad para evaporarse, por lo que existirá un exceso de humedad en la pila generando una condición anaerobia, lo que puede llevar a que los residuos orgánicos entren en una fase de putrefacción lo que generara malos olores y atraerá a moscas, el exceso de humedad se puede controlar con volteos de la pila además de la incorporación de material seco (pabellón verde, 2015, p. 1).

Por otro lado si el porcentaje de aireación supera el 15% va a generar que la temperatura de la pila disminuya y una excesiva evaporación del agua, esto se soluciona añadiendo material triturado que ayudaran a disminuir el tamaño de los poros y con esto la aireación también disminuirá por lo cual el porcentaje ideal de oxígeno oscila siempre entre el 5% - 15% (pabellón verde, 2015, p. 1).

#### **Temperatura:**

Una vez que se dispone del material con el cual se va a realizar el proceso de compostaje se lo aglomera en forma de pilas, de partida todo el material va a tener la misma temperatura, pero conforme va avanzando el tiempo esta temperatura ira variando gracias a la actividad microbiana, por lo que se le considera un parámetro importante en este proceso (Bueno et al, 2008, p. 14).

Dependiendo de la fase en que se encuentre la temperatura tendrá diferentes rangos, pero nunca debe bajar de 35°C ni superar los 70°C, las bajas temperaturas pueden ser causadas por una falta de humedad, ya que al haber un escaso contenido de agua los microorganismos van a reducir su actividad metabólica, esto se puede solucionar regando las pilas o también se puede añadir materia orgánica fresca como frutas (Pabellón verde, 2015, p. 1).

Otra causa de baja temperatura se debe a la falta de material, esto se soluciona añadiendo más material a la pila, la última causa también se debe a una excesiva relación C/N lo que provoca que los microorganismos no dispongan del nitrógeno suficiente para la generación de proteínas y enzimas por lo cual ralentizan su actividad (Pabellón verde, 2015, p. 1).

**pH:** en los primeros momentos del inicio del proceso de compostaje el pH tiende a disminuir, esto se debe a que los microorganismos empiezan a actuar sobre el material más frágil, lo que produce una liberación de ácidos orgánicos, luego el pH empieza a subir debido a un aumento de concentración del ion amonio, cuando el pH y la temperatura suben de manera brusca se puede generar la pérdida de nitrógeno en forma de amoniaco, una vez que el material empieza a estabilizarse el pH adquiere valores entre 7 y 8 (Roca, s.f, p. 1).

**Humedad:** la humedad es un parámetro muy importante en el proceso de compostaje ya que de esto dependerá la existencia de microorganismos en la pila, ya que como todo ser vivo necesitan del agua para sobrevivir, el porcentaje optimo esta alrededor del 55% aunque esto puede variar dependiendo del tamaño de las partículas además del sistema que se ha utilizado para el compostaje, si la humedad ha descendido del 45% la actividad microbiana disminuye, y si supera el 60% el agua saturara los poros e impedirá la oxigenación de la materia (Román et al. 2013, p. 27)

**Tabla 1-1:** Parámetros de humedad

Porcentaje de humedad	Problema	Soluciones
< 45%	El proceso de compostaje puede detenerse por alta de agua para los microorganismos	Regular la humedad añadiendo material fresco o regando las pilas.
<b>RANGO IDEAL 45% - 60%</b>		
>60%	El material utilizado tiene demasiada humedad, el oxígeno se desplaza, puede aparecer putrefacción.	Se arregla mediante volteos o añadiendo material seco.

Fuente: (Román et al. 2013, p. 27).

**Relación C/N:** se obtiene dividiendo la cantidad de carbono sobre la cantidad de nitrógeno, esto va a variar durante el proceso de compostaje. El rango ideal se halla dentro del rango 15:1 – 35:1. Cuando la relación C:N supera el 35:1 quiere decir que existe una mayor cantidad de material rico en carbono y causa de esto el proceso tiende a enfriarse lo que ocasiona que el proceso se haga más lento (Pabellón verde, 2015, p. 1).

Cuando es menor de 15:1 indica que hay un exceso de materia rica en nitrógeno, y el proceso de compostaje se realizara con mayor rapidez, el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco para autorregular la relación C/N. Estas pérdidas no afectan negativamente al compostaje (Bueno et al. s.f. p. 1-16).

**Tabla 2-1:** Valores de relación C/N de materiales orgánicos

<b>Materiales</b>	<b>Relación C/N</b>
-Papel	150-200/1
-Caña de maíz	150/1
-Pajas (trigo, cebada, avena, centeno)	100-60/1
-Cascarilla de arroz	95/1
-Viruta, aserrín	80-90/1 (150/1)
-Broza forestal (hojas, tallos, ramas)	70-80/1
-Rastrojos, rollos, fardos (secos)	65-80/1
-Hojas frescas	40-80/1
-Residuos de frutos	40/1
-Residuos cultivo champiñones	30-40/1
-Mezcla de gramíneas follaje abundante	10/1
-follaje en plena floración	20/1
-follaje maduro	50/1
-Abono verde, prados (corte)	10-20/1
-Mosto	16/1
-Rastrojo de leguminosas	10-15/1
-Cáscaras de café	8/1
-Alfalfa hojas	10/1
-forraje verde	13/1
-fardo	16/1
-Heno	21/1

Fuente: (Schuldt, 2012. p1)

### *1.2.6.3. Sistemas de compostaje*

Los sistemas de compostaje se utilizan para facilitar los controles y optimizar los parámetros operacionales, con lo cual se logre obtener un producto de calidad desde el punto de vista sanitario y como fertilizante, los sistemas de compostaje se pueden clasificar en dos grupos:

#### **Sistemas Abiertos:**

- ✓ Apilamiento estático
- ✓ Apilamiento con volteo
- ✓ Apilamiento con volteo y aireación forzada

En el proceso de compostaje los sistemas abiertos son los más tradicionales, los materiales a ser compostados se colocan en montones o pilas los cuales puedes estar al aire libre o en naves, la aireación de las pilas se las puede realizar mediante volteos o por un sistema de aireación forzado.

#### **Sistemas Cerrados:**

- ✓ Reactores verticales
- ✓ Reactores horizontales.

A estos sistemas se los puede denominar como industrializados, aquí el proceso se realiza en reactores horizontales o verticales pero la fase de maduración se la realiza al aire libre, estos sistemas ayudan a reducir la superficie de compostaje además de controlar mejor los parámetros y olores, estos sistemas requieren de grandes sumas de dinero para sus instalaciones, su proceso es más rápido y requiere menos espacio (Negro et al. 2000, p. 12-15).

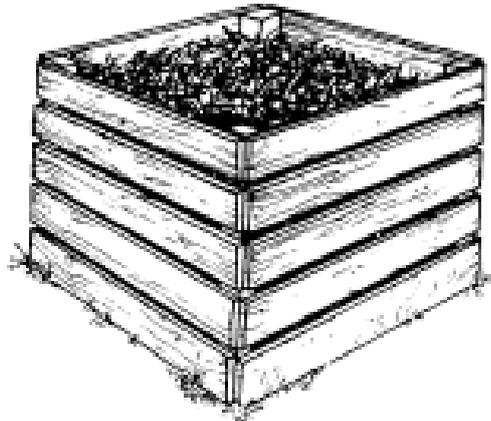
### *1.2.6.4. Composteras*

Otro sistema se basa en la recolección de material orgánico y se lo coloca dentro de un recipiente denominado compostera, hay composteras de distintas formas y tamaños cuya función principal es mantener el material junto, minimización de espacio y mejora de la estética. Algunos de ellos son de tipo cajones.

Esto consiste en la construcción de cajones donde se depositaran los materiales orgánicos recogidos, estos se pueden construir de distintos materiales desde palés de madera hasta ladrillo, o a su vez en combinaciones de madera y malla metálica.

### **Cajón de madera**

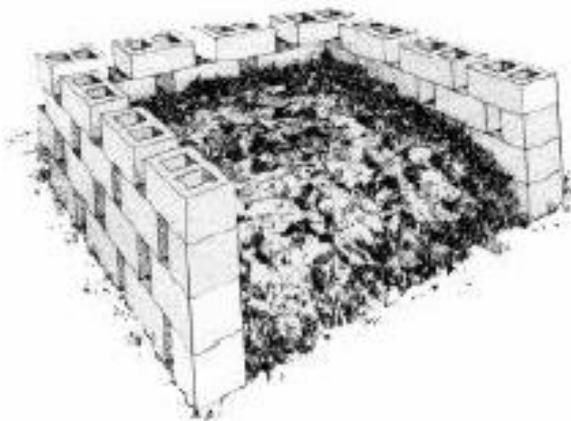
Este se construye mediante el uso de palés o láminas de madera, se procede formando un cubo con dimensiones 1x1x1 m. Para facilitar la circulación del aire se puede colocar un palé en la base de la estructura y otro en la parte superior para no permitir el ingreso de animales.



**Figura 3-1:** Cajón de madera  
Fuente: Alcolea & Gonzales, 2000, p. 27-30)

### **Bloque de obra**

Esta estructura será más duradera pero también será más cara para construir, se construye levantando 3 paredes de 1x1 m con bloques de hormigón. Se debe dejar un espacio de 1cm entre los bloques para la circulación de aire.

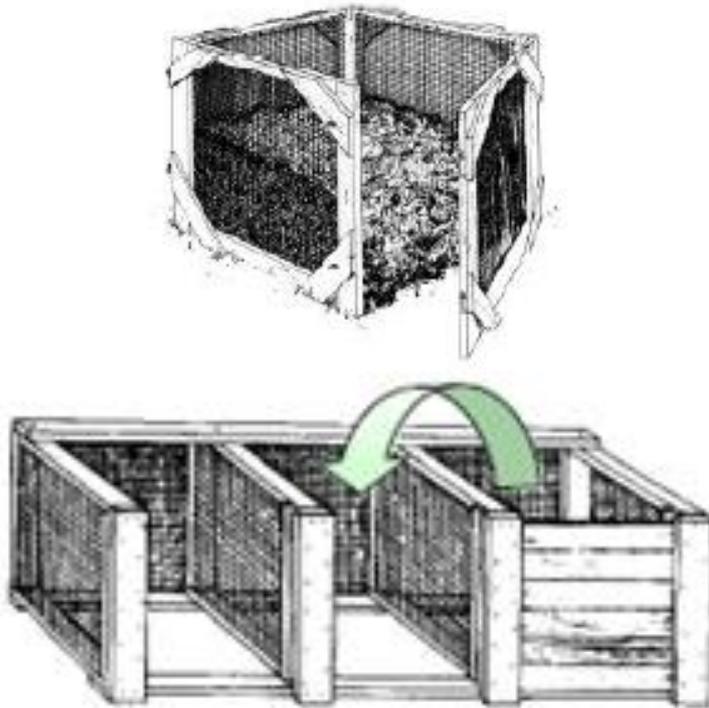


**Figura 4-1:** Cajón con bloques de concreto  
Fuente: Alcolea & Gonzales, 2000, p. 27-30)

### **Combinado de madera y malla de alambre.**

Este tipo de estructura también resulta un poco costoso en cuanto a su construcción, pero resulta ser duradero y robusto. Se levanta en forma de cubo de 1x1x1m, con láminas de madera,

las cuales servirían como soporte para las paredes de malla metálica. Si el volumen de los residuos orgánicos es muy grande se puede ampliar la estructura a dos o tres unidades trabajando en continuo.



**Figura 5-1:** Cajones combinados  
Fuente: Alcolea & Gonzales, 2000, p. 27-30)

También se presenta una forma ingeniosa de construir la estructura aprovechando un terreno con pendiente



**Figura 6-1:** Cajones en pendiente  
Fuente: Alcolea & Gonzales, 2000, p. 27-30)

### ***1.2.7. Compost***

El compost es el resultado del proceso de compostaje y la descomposición de la materia orgánica, tales como restos vegetales, restos de cocina, poda de jardines y estiércol de animales herbívoros, del cual se va a obtener una tierra muy rica en nutrientes después de su descomposición total.

El compost resulta un abono 100% orgánico el cual obtiene una coloración café oscuro, con un aroma rico a tierra y nutrientes, su principal función es darle vida al suelo ya que lo nutre y por siguiente proporciona vida a las plantas (Merino, 2012, p. 1).

#### ***1.2.7.1. Estabilidad del Compost***

Para la determinación de la estabilidad del compost se ha establecido algunos métodos para su evaluación como por ejemplo:

##### **Métodos físicos:**

- Temperatura de las pilas
- Color
- Olor
- Oxígeno

##### **Métodos químicos:**

- Materia orgánica
- Relación C/N
- DQO
- Sustancias húmicas
- Etc.

##### **Métodos biológicos:**

- Índice respirométrico
- Generación de calor
- Contenido de ATP
- Germinación (Valencia, 2016, p. 24-25)

#### *1.2.7.2. Madurez del compost*

La madurez es uno de los parámetros de mayor importancia para determinar la calidad del compost, su grado de madurez es expresado como el estado de degradación, síntesis y transformación microbiana en que se halla el material que está siendo compostado.

#### *1.2.7.3. Tipos de compost*

Existen 2 tipos de compost los cuales dependen del estado de madurez en que este se encuentre o se coseche, así tenemos:

##### **Compost Maduro**

Este se define como un producto ya estabilizado, su principal característica es disponer los nutrientes de manera que las plantas las puedan obtener de manera fácil, su aspecto es parecido a la tierra con un color marrón oscuro tendiendo al negro, su olor es muy característico y agradable

##### **Compost Inmaduro**

Este en ocasiones permanece caliente, su olor es algo desagradable parecido al amoníaco y aun se pueden observar restos del material orgánico de partida en el proceso del compostaje, posee inhibidores que impide el crecimiento de vegetales y un contenido de sales muy elevado

(García et al. 2014, p. 4)

#### *1.2.7.4. Diferencias entre los tipos de compost*

El compost inmaduro tiene un tiempo de maduración corto y se aprecian materiales poco descompuestos, este tipo de compost es principalmente utilizado como acolchado y para mejorar las propiedades físicas de los suelos (Suárez, 2012, p.92)

El compost maduro tiene un tiempo de maduración largo y no presenta materiales sin descomponer, se reconoce que es un compost maduro por su textura terrosa y su color oscuro, este compost se utiliza como fertilizante ya que aporta muchos elementos nutritivos como son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, etc. además aumenta la capacidad de retención de agua (Suárez, 2012, p. 92)

#### *1.2.7.5. Compostaje industrial y doméstico*

Un estudio realizado por la Universidad Autónoma de Barcelona, comparó la eficiencia y los impactos ambientales entre el compostaje casero y el producido a nivel industrial, para comparar las escalas de compostaje se utilizó una técnica de análisis de ciclo de vida (ACV), de manera que todos los impactos ambientales quedaran cuantificados: consumo de recursos como

agua y energía, toxicidad, lixiviados, emisiones de gases de efecto invernadero, potencial de eutrofización, etc. En el proceso doméstico se liberó una cantidad de cinco veces superior al gas amoniacal, metano y óxido nitroso que durante el compostaje a nivel industrial, esto se debe a que en el compostaje casero no se realizan tratamiento de gases emitidos lo cual en el compostaje industrial es una práctica muy habitual, pero la segunda estrategia conllevó a un mayor consumo de recursos, infraestructura y emisiones de compuestos volátiles; en conclusión el compostaje casero resulta ser una técnica muy válida para la obtención de compost de buena calidad, ya que los impactos ambientales son menores que a nivel industrial (UAB, 2010, P.1).

### **1.2.8. Bocashi**

Es una receta de origen japonés que resulta en la producción de un abono orgánico el cual requiere de constantes volteos y una temperatura bajo de los 45 -50 °C, la actividad microbiana en este proceso disminuye al momento que disminuye la humedad del material, el bocashi también se considera como un proceso incompleto del compostaje, conocido como un abono fermentado pero es un proceso aerobio (Soto, 2003, p.33).

El abono obtenido es rico en nutrientes que los cultivos necesitan, estos nutrientes se obtienen de la fermentación de materiales que conforman un abono superior a los fertilizantes químicos. El abono del bocashi es utilizado para el suministro de nutrientes al suelo, donde las raíces lo absorben para desarrollarse de una buena manera, para que se garantice un abono equilibrado hay que utilizar una diversidad de materiales (MAG, 2011, p.8).

Su principal función es mejorar la calidad de los suelos, y los microorganismos disponen los minerales que las plantas utilizan para estimular su crecimiento (MAG, 2011, p.8).

**Tabla 3-1:** Comparación entre el proceso de bocashi y del compostaje

CARACTERÍSTICAS	BOCASHI	COMPOST
<b>Producto final</b>	Materia orgánica en descomposición	Sustancias húmicas
<b>Temperaturas máximas</b>	45 – 50 °C	65 – 70 °C
<b>Humedad</b>	Inicial 60% desciende rápidamente	60 % durante todo el proceso
<b>Frecuencia de volteo</b>	Una a dos veces al día	Regida por la temperatura y CO <sub>2</sub>
<b>Duración del proceso</b>	De una a dos semanas	De 1 a 2 meses

Fuente: (Soto, 2003, p.33).

Otros beneficios del bocashi es que reduce la acidez en suelos, existe una mejor captación de agua de las lluvias, protege la biodiversidad, disminuye el calor ambiental, reduce el costo de

producción ya que su fabricación es más barata que comprar fertilizantes sintéticos por lo que se mejora la rentabilidad de los cultivos (MAG, 2011, p.8).

### 1.2.9. *Lombricomposteo*

No es más que humus, característico por ser materia orgánica en descomposición hallada en los suelos que resulta de restos animales y vegetales, al comienzo del proceso de descomposición parte del hidrogeno, carbono, nitrógeno, y oxígeno se disipan de manera rápida en forma de agua, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y NH<sub>3</sub>, el resto de los componentes se descomponen lentamente permaneciendo en forma de humus (Gimeno, 2006).

La acción de microorganismos del suelo como las bacterias, hongos, protozoos hacen que la composición química del humus varíe, su color es oscuro y amorfa, siendo las sales minerales, CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> los productos finales en la descomposición del humus, al descomponerse los residuos vegetales se almacenan en el suelo siendo utilizado por las plantas como alimento; la importancia del humus es brindar textura al suelo además de color y capacidad de retención de agua (Gimeno, 2006).

Para determinar si el producto obtenido es de buena calidad hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

**Tabla 4 -1:** Valores de calidad para el humus

PARÁMETRO	VALOR
<b>pH</b>	6,7 – 7,5
<b>Materia Orgánica</b>	Mayor a 28%
<b>Nitrógeno</b>	Mayor a 2%
<b>Relación C/N</b>	Entre 9 – 13
<b>Cenizas</b>	Menor a 27%

Fuente: (Gimeno, 2006)  
Elaborado por: Andrés Merino

El humus tiene una alta posibilidad de ser comercializado en todo el mundo, pero su precio va a depender de la calidad que posea ya que muchos fabricantes de humus no llegan a cumplir con la calidad requerida y por esta razón los precios variaran unos de otros, en cuanto a la economía de los productos es mucho mejor aquellos cultivados y abonados con el humus frente a los cultivados con abonos químicos. (Gimeno, 2006)

Para la fabricación del humus generalmente se utiliza una especie de lombriz en específico llamada lombriz roja californiana, la cual respira por debajo de su piel, midiendo entre 6 y 8 cm de largo y 3 a 5 mm de ancho, pesan 1 gr, al ser expuesta a la luz solar muere rápidamente y con los cuidados debidos puede vivir hasta 15 años produciendo unas 1300 lombrices por año. (Gimeno, 2006)

#### ***1.2.10. Alimentación animal***

En las áreas rurales del país las personas acostumbran a separar los residuos orgánicos que generan cada día con el propósito de aprovecharlos para alimentar sus animales especialmente los cerdos y el ganado.

Debido a que los residuos orgánicos contienen gran cantidad de humedad estos no se pueden conservar por grandes periodos de tiempo ya que empezaría la descomposición, putrefacción y fermentación, para ello las personas deben saber cuánta cantidad de residuos generan para poder aprovechar su valor alimenticio para los animales (Jaramillo & Zapata, 2008, p.35).

#### ***1.2.11. Biofertilizantes***

Son un grupo de microorganismos que proporcionan mejor calidad a los cultivos brindándoles una mayor proporción de nutrientes para su buen crecimiento, su utilización es muy viable e importante para tener un desarrollo agrícola sostenible, permitiendo un bajo costo en la producción, además conserva el suelo y no contamina el ambiente (Acuña, 2003, p. 2-3).

#### ***1.2.12. Biofermentos***

Es un abono líquido que posee energía equilibrada con una armonía vegetal, el cual se realiza mediante el uso de materia prima como el pasto, melaza, suero, leche, que se enriquecen con la aplicación de sales minerales ,además de organismos benéficos, este proceso se realiza de manera anaerobia (Alvarez, 2010, p. 1).

##### ***1.2.12.1. Problemática con los residuos sólidos***

El principal problema que ocurre en nuestro país en temática de tratamiento de residuos sólidos se debe a la falta de concientización a la población, ya que la mayoría de personas no entiende lo importante que es una separación de residuos en el origen, esto ocurre por la falta de campañas de información ambiental en la zona urbana, porque en la zona rural existe un conocimiento mayor del aprovechamiento de residuos de origen vegetal para la generación de abonos para cultivos.

El mundo genera aproximadamente 1,6 mil millones de toneladas de residuos sólidos cada año, la generación de estos residuos y su gestión inadecuada se asocia con las emisiones de metano y dióxido de carbono (Valencia, 2016, p.6).

Los residuos sólidos son de suma importancia no por el riesgo que pudieren ocasionar sino por la cantidad que se genera día a día, investigadores afirman que en países europeos la cantidad de residuos que se generan son alrededor de 5 mil millones de toneladas por año, esta problemática es preocupante porque los municipios no generan una adecuada disposición final llegando a ocasionar una contaminación ambiental (Valderrama, 2013, p.14).

### ***1.2.13. Generación de residuos sólidos orgánicos a nivel mundial***

Los residuos sólidos orgánicos municipales que son recogidos en países europeos es cada vez más grande, Europa genera más de 3 mil millones de toneladas de residuos cada año, en América Latina y el Caribe del total de residuos sólidos que se genera el 50% son residuos orgánicos, solamente 2% de estos son aprovechados, otros terminan en vertederos y rellenos sanitarios, utilizados como alimentos para animales de granja, y el resto son arrojados en botaderos sin haber recibido un proceso sanitario previo (Jaramillo & Zapata, 2008, p.31).

**Tabla 5-1:** Composición de residuos sólidos orgánicos municipales de América Latina y el Caribe.

PAÍS	% EN PESO DE MATERIA ORGÁNICA
<b>México</b>	43
<b>El Salvador</b>	42
<b>Perú</b>	50
<b>Chile</b>	49
<b>Guatemala</b>	63,3
<b>Colombia</b>	52,3
<b>Uruguay</b>	56
<b>Bolivia</b>	59,5
<b>Ecuador</b>	71,4
<b>Paraguay</b>	56,6
<b>Argentina</b>	53,2

**Fuente:** (Jaramillo & Zapata, 2008, p.31).

### **1.3. Ceniza Volcánica**

Es un residuo que se produce cuando una erupción volcánica esta por ocurrir o está ocurriendo, está formada por partículas que resultan de la fragmentación de la roca y tienen un tamaño

menor a 2mm, es caliente cuando es expulsada del volcán y se enfría al caer a mayor distancia. Su apariencia varía dependiendo del tipo de volcán y la manera en que erupciona, sus tonalidades van desde el gris hasta el negro y también su tamaño puede variar desde arenillas hasta polvo tan fino como el talco (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2017).

### ***1.3.1. La ceniza y los suelos***

En análisis realizados a cenizas, estas presentan una reacción medianamente ácida a neutra las cuales varían dependiendo del lugar de donde las muestras fueron recolectadas, lo que muestra que al ser agregadas al suelo no se espera que produzca algún tipo de efecto. Las cenizas en el agua poseen una conductividad eléctrica baja por lo cual al incorporarse las mismas al suelo no hay una expectativa de elevada salinización (Cremona et al. s.f. p. 1-4)

En otro estudio realizado con la ceniza volcánica se procedió a los estudios de los efectos de la ceniza sobre microorganismos del suelo, donde la hipótesis sería que la actividad de los microorganismos disminuiría por el efecto causado por la ceniza. Una vez terminados los estudios descubrieron que la ceniza estimuló a la actividad de los microorganismos gracias a que actúa como un retenedor de agua (Mesquida, 2016)

### ***1.3.2. Ceniza del Volcán Tungurahua***

El volcán Tungurahua en 1999 inició una nueva fase eruptiva y desde el año 2002 se han detectado continuas emisiones de gas y ceniza, la actividad más fuerte que se ha registrado fue en agosto 2006, aquí se produjeron nubes de ceniza de alrededor de 30 km de altura y diámetros de 280 km afectando una buena parte del centro del territorio ecuatoriano (De la Torre et al, 2009, p. 20-22)

La ceniza arrojada afectó a 19000 hectáreas de cultivos en la región oeste del volcán, los efectos de este fenómeno natural sobre la agricultura va a depender del tipo de cultivo que exista, de su grado de desarrollo y sobre todo del espesor de la capa de ceniza que se ha depositado; los cultivos más afectados por la capacidad de retención de ceniza fueron las hortalizas, pastos y tubérculos seguidos de frutales, y los menos afectados fueron cereales y granos (De la Torre et al, 2009, p. 20-22)

A estudios realizados a esta ceniza se determinó que presenta valores muy bajos de materia orgánica (0,1%), mientras que los suelos poseen del 5 al 10% de este material, si se considera que valores por encima del 5% de materia orgánica benefician al suelo mejorando sus condiciones físicas, es evidente que los cultivos desarrollados sobre ceniza volcánica no van a tener un suministro inmediato de nutrientes (De la Torre et al, 2009, p. 20-22)

### ***1.3.3. Beneficio de la ceniza***

La ceniza de los volcanes es uno de los grandes abonos naturales que se pueden encontrar en la naturaleza, debido a sus propiedades y composición, la ceniza que cae en los suelos cada cierto tiempo contribuye a que mantengan su nivel de fertilidad, su composición mineralógica aportara a los suelos componentes como potasio, azufre, calcio, hierro, magnesio, sodio y aluminio, los cuales permiten que las tierras continúen con su fertilidad a largo plazo (Sacho, 2015, p.1)

Los depósitos de ceniza volcánica tiene un efecto directo sobre las propiedades físico-químicas del suelo como es el pH, textura, materia orgánica, densidad, capacidad de intercambio catiónico, con la consecuente influencia en la disponibilidad de nutrientes y agua para los cultivos (De la Torre et al, 2009, p. 23)

La interacción del suelo con la ceniza volcánica hacen que con el pasar del tiempo los bajos contenidos de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico se incrementen, los suelos se recuperan en un lapso de 3 a 6 meses (De la Torre et al, 2009, p. 23)

### ***1.3.4. Composición química de la ceniza***

Si bien es conocido que la ceniza está compuesto por roca molida y minerales, estudios realizados a muestras de ceniza recolectadas del volcán Pichincha y Tungurahua muestran distintos elementos y distintas concentraciones.

**Tabla 6-1:** Composición química de la ceniza volcánica del volcán Pichincha, 1999

COMPUESTO	VALOR REFERENCIAL WT%	MUESTRA 9 -12-1999 WT%	MUESTRA 17-12-1999 WT%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	64.19	63.4	64.7
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	16.69	16.6	16.7
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1.93	4.94	4.79
<b>MgO</b>	2.39	2.3	2.38
<b>CaO</b>	5.13	4.68	4.81
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	4.42	3.71	4.19
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.51	1.77	1.85
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.5	0.41	0.39
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.19	0.23	0.15
<b>MnO</b>	0.10	0.07	0.08
<b>LOI</b>	0.6	1.82	0.66

**Fuente:** Instituto Geofísico EPN, USGS, Vancouver, expresado en WT%  
Elaborado por: (Alvarez M., Aviles J. s.f. p. 5-6)

**Tabla 7-1:** Composición química de la ceniza volcánica del volcán Tungurahua, 1999

COMPUESTO	VALOR REFERENCIAL WT%	MUESTRA 2 -11-1999 WT%	MUESTRA 07-11-1999 WT%	MUESTRA 13-11-1999 WT%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	64.09	58.5	58.3	58.4
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	16.85	17.3	17.1	17.1
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2.07	6.81	7	6.91
<b>MgO</b>	2.58	3.68	4.04	3.92
<b>CaO</b>	5.17	6.58	6.6	6.52
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	4.46	4.04	3.87	3.93
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.5	1.71	1.68	1.7
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.5	0.89	0.87	0.88
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.19	0.35	0.33	0.34
<b>MnO</b>	0.10	0.10	0.11	0.11
<b>LOI</b>	0.38	0.49	0.49	0.04

**Fuente:** Instituto Geofísico EPN, USGS, Vancouver, expresado en WT%  
Elaborado por: (Alvarez M., Aviles J. s.f. p. 5-6)

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Tipo y diseño de investigación.**

Esta investigación fue clase correlacional de tipo observación natural, ya que el ensayo empleó la ceniza volcánica como estimulador en el proceso degradativo de la materia orgánica de origen vegetal para la obtención de compost de calidad.

#### **2.2. Población de estudio.**

La población de estudio en esta investigación fue la ceniza volcánica y su capacidad de actuar como un estimulador en la degradación de materia orgánica y con esto mejorar la calidad del producto.

#### **2.3. Tamaño de la muestra.**

No se pudo calcular el tamaño de la muestra debido a que constantemente se fueron tomando muestras aleatorias de cada compostera para sus respectivos análisis, y cada muestra tomada fue por triplicado y por tratamiento.

#### **2.4. Selección de la muestra.**

Para la selección de la muestra se empleó el método denominado por cuarteo de donde se obtuvo una muestra de cada tratamiento y por cada repetición recolectadas durante los volteos, con un total de 3 muestras por repetición es decir 36 muestras. Además de una muestra inicial y final, total de muestras analizadas 60.

#### **2.5. Técnica de recolección de datos.**

Los datos obtenidos fueron de carácter cuantitativo, y recolectados conforme la investigación fue avanzando, para ello se registró las mediciones diarias de temperatura, humedad, y pH, además de los análisis de laboratorio obtenidos durante el proceso de compostaje.

## **2.6. Hipótesis**

La ceniza volcánica actúa como un estimulador en la degradación de materia orgánica de origen vegetal mejorando la calidad del compost.

## **2.7. Identificación de variables.**

### **2.7.1. Dependientes.**

- Calidad del compost.
- Aireación.
- Generación de olores.
- Descomposición.

### **2.7.2. Independientes.**

- Ceniza volcánica.
- Condiciones climáticas.

### **2.7.3. Indicadores.**

- Temperatura
- Humedad
- pH
- Relación C/N
- Tipo de residuo orgánico.
- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio
- Germinación

## **2.8. Localización de la investigación.**

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua, a 1820 m sobre el nivel del mar, para este trabajo se ejecutaron algunas actividades que se describen a continuación.

## 2.9. Metodología de la investigación

### 2.9.1. Preparación del terreno

Para esto se aprovechó un terreno con pendiente para demostrar que la geografía del mismo no fue un obstáculo para la realización de compost, para poder utilizar este terreno con pendiente se empezó por retirar toda la maleza y rocas de gran tamaño, posterior a esto se continuó con la realización de terrazas como se muestra en la figura 1-2.



**Figura 1-2:** Elaboración de terrazas  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 2.9.2. Recolección de la materia prima

Los residuos sólidos de origen vegetal se recolectaron en la plaza 5 de junio de la ciudad de baños y del mercado municipal, donde los principales residuos eran de col, lechuga, cebolla, nabo, choclo, alfalfa, fruta, siendo la principal fuente de nitrógeno, estos residuos eran recolectados en costales para posteriormente separar la parte orgánica de la inorgánica.

La recolección de los residuos se llevó a cabo en la plaza 5 de junio los días miércoles, viernes y domingo, mientras que en el mercado municipal se recolectó de lunes a domingo, la duración de recolección fue durante un mes, donde ya se disponía de suficiente materia prima para empezar el proceso de compostaje.

Para el contenido carbono se recolectó bagazo de caña también durante un mes, este residuo se recolectó de los puestos de venta de caña y melcochas que gracias a sus negocios son los principales generadores de este residuo.



**Figura 2-2: Recolección de residuos orgánicos**  
Realizado por: Andrés Merino, 2018



**Figura 3-2: Recolección de ceniza volcánica**  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

La ceniza volcánica se recolectó de las faldas del volcán Tungurahua, a 2800 msnm, donde según los pobladores de la comunidad de Pondoá que se ubica en este sector, afirman que la última vez que cayó ceniza fue hace 3 años, por lo cual para su recolección se tuvo que realizar varias excavaciones hasta dar con la ceniza, una vez ubicada se procedió a su recolección raspando un una pala ya que únicamente se hallaba en capas de 2 cm.

**Tabla 1-2:** Composición química de la ceniza volcánica utilizada en la investigación.

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
<b>F180285</b>	<b>C.V</b>	$^{2}\text{P}_2\text{O}_5$	PEE/F/04	%	0,0472
		$^{2}\text{K}_2\text{O}$	PEE/F/19	%	0,0201
		$^{2}\text{CaO}$	PEE/F/11	%	0,3909
		$^{2}\text{MgO}$	PEE/F/11	%	0,2230
		Fe	PEE/F/12	%	0,5699
		Mn	PEE/F/21	%	0,0081
		Na	PEE/F/21	%	0,0553
		Al	PEE/F/20	%	0,0010

Analizado por: Ing. Melissa Rea, Ing. Edison Vega, Ing. Mayra Quishpe. (Laboratorios Agrocalidad Quito-Tumbaco) 2018.

La tabla 1-2 indica los elementos presentes en la ceniza volcánica a utilizar en este trabajo, demostrando valores de fosforo y potasio insignificantes, pero valores de micronutrientes favorables para el buen desarrollo de las plantas.

### **2.9.3. Elección de la compostera**

La compostera se eligió dependiendo del tipo de terreno, por cuestiones de espacio se procedió a elegir composteras fabricados con madera y malla metálica con dimensiones 1x1x1 m como se observa en la figura 4-2, en total se construyeron 12 composteras debido a que se realizó 4 tratamientos con distintas concentraciones de ceniza volcánica, con 3 repeticiones cada uno.



**Figura 4-2:** Compostera  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

#### ***2.9.4. Preparación de la materia prima***

Una vez recolectados los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal se procedió a la clasificación de la parte orgánica y la inorgánica para que esto no afecte el proceso de compostaje, ya que se encontraron fundas, piolas, botellas, etc.



**Figura 5-2:** Clasificación de residuos  
Realizado por: Andrés Merino, 2018.

Una vez separados los residuos sólidos orgánicos de los inorgánicos, se procedió a la trituración de los residuos vegetales para que el proceso de compostaje sea más rápido, esto se realizó con ayuda de machetes ya que no se consiguió una máquina trituradora.



**Figura 6-2:** Trituración de la materia prima  
Realizado por: Andrés Merino, 2018.

### ***2.9.5. Proceso de elaboración del compost***

Una vez triturada la materia prima se procedió a colocarla en las composteras, en cada una se colocó un total de 200 kg de residuos sólidos sin tomar en cuenta la humedad en peso, ya que esta se midió en porcentaje cada día durante todo el proceso con ayuda del medidor de humedad.

En las tres primeras composteras denominadas T1R1, T1R2, y T1R3 se colocó 200 kg de residuos vegetales sin ceniza volcánica.

En otras 3 composteras denominadas T2R1, T2R2, y T2R3 se colocó 190 kg de residuos vegetales y 5% de ceniza volcánica (10 kg).

En las 3 siguientes composteras denominadas T3R1, T3R2, y T3R3 se colocó 180 kg de residuos vegetales y 10% de ceniza volcánica (20 kg).

Y en las 3 últimas composteras denominadas T4R1, T4R2, y T4R3 se colocó 170 kg de residuos vegetales y 15% de ceniza volcánica (30 kg).



**Figura 7-2:** Levantamiento de composteras  
Realizado por: Andrés Merino, 2018.

Para proteger las composteras de las lluvias se construyó un techo con plástico de invernadero y madera, construido de la mejor manera para evitar que los fuertes vientos se lleven el plástico o puedan virar los postes de madera, haciendo que estos caigan sobre las composteras y arruinando el proceso de compostaje. Ver figura 8-2 y 9-2.



**Figura 8-2:** Preparación del techo  
Realizado por: Andrés Merino, 2018



**Figura 9-2:** Techo terminado para proteger las composteras

Realizado por: Andrés Merino, 2018

### **2.9.6. Control del proceso de compostaje**

#### **Relación C/N.**

La relación carbono / nitrógeno fue un parámetro analizado al comienzo del proceso de compostaje y al final una vez obtenido el compost.

Según (Palmero, 2010, p. 3-4) la relación C/N ideal de partida oscila entre 25 y 35 partes de carbono por 1 parte de nitrógeno ya que los microorganismos necesitan de más carbono para utilizarlo como fuente de energía y el nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento celular. Si la relación C/N no está bien definida en el interior de las composteras, es decir, si posee valores más elevados o más bajos de los que debe estar se producirán inconvenientes relacionados a una mayor lentitud del proceso o simplemente el proceso no se inicia porque los microorganismos no encuentran las condiciones nutricionales necesarias.

Para ello, al momento de formar las composteras se colocó junto a los residuos sólidos vegetales, bagazo de caña que posee una relación C/N de 197:1 (Bohórquez et al, 2014, p.76).

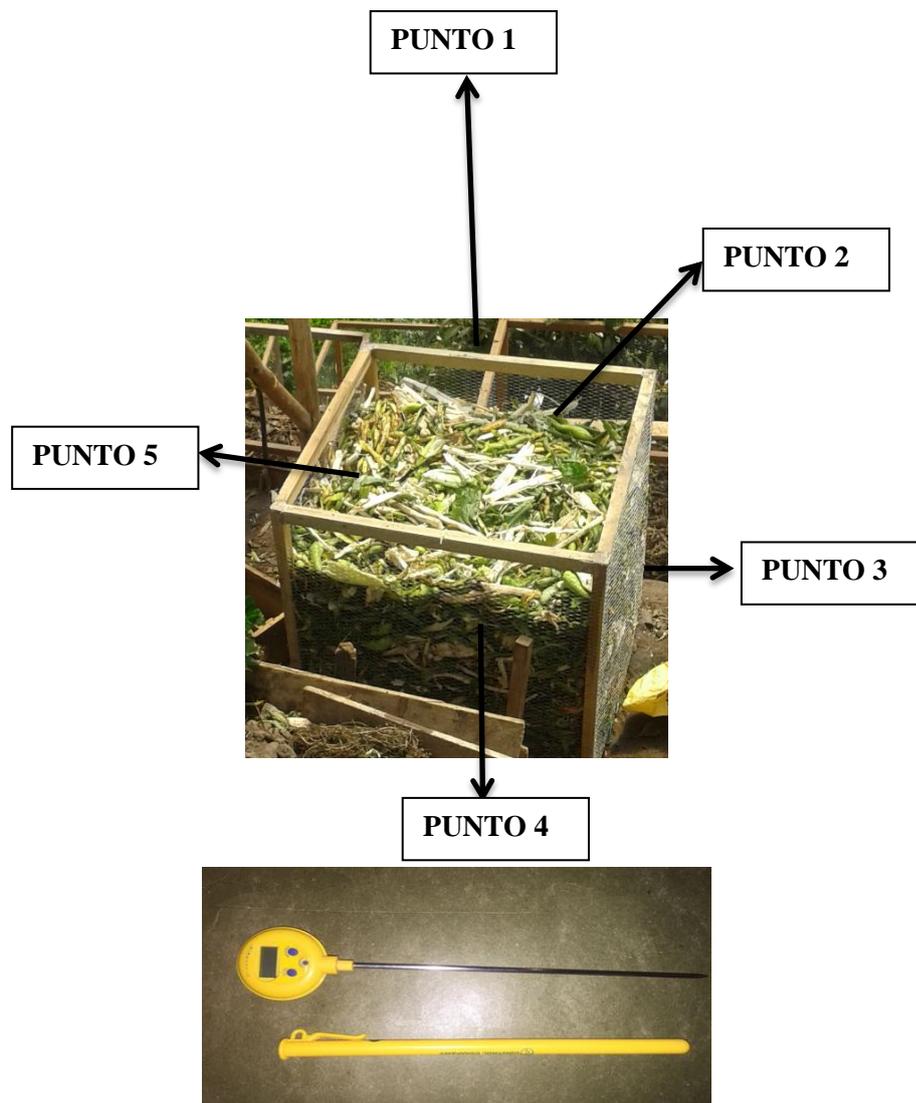
La ceniza volcánica no afecta la relación C/N del proceso de compostaje ya que según (Cremona et al. s.f. p. 1-4) en estudios realizados a cenizas, los valores de carbono va de 0,02 % a 0,05 % y el contenido de nitrógeno de 0,003% a 0,009 %.

El contenido de carbono y nitrógeno se envió a analizar en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, una vez obtenidos los resultados se calculó la relación C/N de cada tratamiento.

## Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros más importantes y se midió todos los días durante 152 días que duró el proceso de compostaje, este se midió en 5 lugares distintos de la compostera, una de cada lado más una de la parte superior, con el propósito de realizar un promedio y obtener una sola temperatura por cada compostera. Ver figura 10-2.

La temperatura se midió con un termómetro de suelo calibrado mediante las normas ISO/IEC 17025, ANSI/NCSL Z540-1 y 9001. Cuenta con una capacidad de medición de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+300^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 10-2:** Termómetro y puntos de medición

Realizado por: Andrés Merino, 2018

## pH

El pH al igual que la temperatura se midió los 152 días que duro el proceso, también se obtuvo un promedio de las 5 mediciones realizadas en la compostera, estas se realizaron en los mismos puntos de toma de datos de temperatura.

Sus valores variaron dependiendo del tiempo que el proceso avanzaba, se midió con un medidor de pH y humedad de suelo.

## Humedad

La humedad también se midió los 152 días, se obtuvo un promedio de la toma de 5 datos por cada compostera, se consiguieron los datos con un medidor de pH y humedad y los puntos de toma de datos también fueron del mismo lugar donde se tomaron las temperaturas.

La humedad disminuía conforme el proceso avanzaba, esto se solucionaba regando suavemente el material con una manguera hasta mojar toda la compostera, intentando mantener valores de 40% y 60% de humedad.



**Figura 11-2:** Medidor de pH y Humedad  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 2.9.7. Volteos

Los volteos se realizaron una vez que la temperatura empezaba a descender, cuando bajaba de 40°C se procedía a realizar un volteo, esto se realizó una vez cada 10 días con un total de seis volteos a cada compostera durante todo el proceso de compostaje.

Se tomaron 3 muestras de cada compostera de tres volteos distintos, las submuestras se tomaban de 4 lugares distintos de las composteras, como se muestra en la figura 12-2, para posteriormente mezclarlas y formar una sola muestra.



**Figura 12-2:** Puntos de toma de muestras en volteos.  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 2.9.8. *Maduración del compost*

Cuando se realizó los últimos volteos de las composteras se observó que la temperatura ya no volvía a subir lo que indicaba que empezó la etapa de maduración.

Una vez iniciada la etapa de maduración las composteras ya no se tocan, únicamente se midió la temperatura, pH, y humedad, si esta última bajaba de 40% de humedad se procedía a regar la compostera, esto se debe a que por debajo de este valor la actividad biológica decrece mucho. (Bueno, 2008, p. 3)

La etapa de maduración se la dejó por 2 meses aproximadamente para que se completen las reacciones bioquímicas que aumentan la humificación para lograr una materia orgánica más estable y mejores propiedades físicas, químicas y biológicas.



**Figura 13-2:** Etapa de maduración  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 2.9.9. *Compost producto final*

Una vez terminada la etapa de maduración se procedió a cernir el material de cada una de las composteras con una malla metálica de 3mm de paso de luz, con el propósito de recolectar únicamente el material fino para sus respectivos análisis.



**Figura 14-2:** Malla para cernir el material  
Realizado por: Andrés Merino, 2018



**Figura 15-2:** Material final tamizado, compost obtenido  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

## 2.10. Caracterización físico químicas, químicas y biológicas el compost obtenido

### 2.10.1. Caracterización físico químicas.

La determinación de pH se realizó en el laboratorio de biotecnología y el laboratorio de aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con la ayuda de un medidor de pH Fisher Scientific accumet XL150, y para la conductividad eléctrica con el Jenway 4510, se procedió de la siguiente manera:

- En un vaso de precipitación se pesó 5 gramos de muestra
- Se agregó 50 mL de agua destilada y se agitó hasta que la solución se homogenice
- En el analizador Fisher Scientific accumet XL150 se seleccionó pH, y en el Jenway 4510 seleccionamos conductividad eléctrica
- Se introdujo el electrodo y esperamos que arroje el valor
- Se retiró el electrodo y se lavó con agua destilada

La determinación de humedad se lo realizó el mismo laboratorio de la siguiente forma:

- Se pesó una bandeja vacía
- Pesamos la cantidad de muestra húmeda que se va a secar y esparcimos en la bandeja
- Graduamos la temperatura del secador de bandejas eléctrico a 70°C, introducimos la bandeja y se prendió
- Volteamos la muestra cada cierto tiempo dependiendo de cómo avanza el secado
- Una vez seco el material apagamos el equipo y retiramos la bandeja
- Pesamos la muestra seca y por diferencia de peso obtuvimos el valor de humedad
- Se utilizó la siguiente ecuación

$$\%H = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso húmedo}} * 100$$

### 2.10.2. Caracterización química

La determinación de la materia orgánica se lo hizo de la siguiente manera:

- Se taró el crisol a 105°C por 2 horas, se enumeró con lápiz cada crisol en la base
- Se colocó en el desecador por 30 minutos, se pesó el crisol vacío y se anotó cada peso
- Añadimos 6 gramos de muestra y se volvió anotar el peso
- En un reverbero se colocó los crisoles con la muestra removiendo hasta que deje de salir humo negro.
- Luego los crisoles se colocaron en la mufla por 24 horas a una temperatura de 430°C

- Sacado de la estufa se colocó en el desecador por 30 minutos
- Pesamos el crisol con la muestra calcinada
- Para obtener el valor de carbono orgánico utilizó la siguiente ecuación:

$$\%CO = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso del crisol} + \text{muestra calcinada})}{(\text{peso del crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso del crisol vacío})} * 100$$

- Y para la materia orgánica  $\%MO = \%CO \times 1.72$

Este análisis se lo realizo en el laboratorio de bromatología de la ESPOCH.

El análisis de nitrógeno total se lo mandó analizar en los Laboratorios de Servicios Ambientales de la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo), mientras que los análisis de Fósforo y Potasio se los envió a analizar en los laboratorios de Agrocalidad en Quito-Tumbaco.

### **2.10.3. Caracterización biológica**

El índice de germinación también de lo realizó en el laboratorio de biotecnología de la ESPOCH, de la siguiente manera:

- Del material seco se hizo una extracción acuosa con una relación 1:20 P/V, agitando mecánicamente por 2 horas
- Se centrifugó a 7000 rpm por 10 minutos y se filtró con papel de 0,45  $\mu\text{m}$  al vacío para la esterilización del extracto
- En las bases de las cajas Petri colocamos papel filtro de 10 cm de diámetro, colocamos 10 semillas de rábano y añadimos 10mL del extracto acuoso, procurando mojar todo el papel filtro.
- Se preparó la muestra blanco con agua destilada, realizando 10 siembras.
- Con papel aluminio cubrimos todas las cajas Petri haciendo grupos de a 5
- Calibramos la estufa de incubación a 22°C y 80% de humedad relativa
- Colocamos las cajas Petri en la estufa y dejamos incubar por 120 horas
- Contamos el número de semillas germinadas y la longitud de cada una de las raíces, de cada caja Petri
- Para este método se realizaron 10 siembras por cada repetición de cada tratamiento.

El índice de germinación se lo realizó con las siguientes ecuaciones:

$$\%IG = \frac{\% \text{ de germinación} * \% \text{ de crecimiento de las raíces}}{100}$$

$$\% \text{de Germinación} = \frac{\# \text{ de semillas germinadas con el extracto de compost}}{\# \text{ de semillas germinadas con agua destilada}} * 100$$

*% crecimiento raíces*

$$= \frac{\text{longitud promedio de la raíz con el extracto de compost}}{\text{longitud promedio de la raíz con agua destilada}} * 100$$

Las técnicas utilizadas se obtuvieron de (Valencia, 2016, p.88-91).



**Figura 16-2: Índice de germinación**  
Realizado por: Andrés Merino, 2018

## 2.11. *Materiales, instrumentos y herramientas utilizados*

**Tabla 2-2:** Materiales e instrumentos utilizados para la recolección de la materia prima

<b>Instrumentos y materiales</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Materiales</b>	guantes	1 par
	maskarilla	5 unidades
	lonas	12 unidades
<b>Instrumentos</b>	fundas plásticas de basura	2 paquetes
	piola	1 rollo

Realizado por: Andrés Merino, 2018.

**Tabla 3-2:** Instrumentos y Herramientas utilizados para la construcción del techo

<b>Instrumentos y Herramientas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Instrumentos</b>	plástico de invernadero	12 m
	postes de madera	30
	clavos	4 libras
	llanta	50 m
<b>Herramientas</b>	martillo	3
	serrucho	1
	motosierra	1
	barra metálica	2
	azadón	1
	escalera	1
	cuerda	10 m
	tecle	1

Realizado por: Andrés Merino, 2018.

**Tabla 4-2:** Materiales, Instrumentos y Herramientas utilizados para el proceso de compostaje.

<b>Materiales, instrumentos y herramientas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Materiales</b>	guantes	1 par
	mascarilla	1
	gorra	1
<b>Herramientas</b>	machete	2
	pala	1
	azadón	1
	rastrillo	1
	lonas	2
	balanza romana	1
	cuerda	3 m
	cajones de madera y malla	12
<b>Instrumentos</b>	termómetro	1
	medidor de temperatura y humedad	1
	termo higrómetro	1
	manguera	20 m
	malla 3mm paso de luz	1 m
	fundas ziploc	5 paquetes

**Realizado por:** Andrés Merino, 2018.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

#### 3.1. Resultados de la investigación

La tabla 1-3 indica los valores promedio obtenidos del compost de cada tratamiento una vez analizados todos los parámetros tanto en los laboratorios de la ESPOCH, UNACH y AGROCALIDAD.

**Tabla 1-3:** Parámetros analizados del compost obtenido con los cuatro tratamientos.

PARÁMETROS	UNIDAD	152 DÍAS				LIMITES PERMISIBLES SEGÚN BIBLIOGRAFÍA
		TRATAMIENTO				
		T1	T2	T3	T4	
<b>C/N INICIAL</b>	-	27,06	25,96	26,71	25,38	25-35:1
<b>C/N FINAL</b>	-	12,86	12,84	12,77	12,59	10-15:1
<b>% HUMEDAD Final</b>	%	46,51	45,05	45,88	44,89	30 - 50
<b>IG</b>	%	89,87	90,83	91,41	89,21	> 80
<b>MO</b>	%	78,36	77,97	78,93	74,94	> 20
<b>pH</b>	-	7,24	7,43	7,49	7,26	6 - 9
<b>CE</b>	mS/cm	2,88	2,5	1,75	1,65	< 3
<b>N</b>	% p/p	1,77	1,66	1,67	1,47	> 0,8
<b>P</b>	% p/p	0,88	0,66	0,43	0,37	0,1 - 1
<b>K</b>	% p/p	4,28	3,96	2,95	2,85	> 1

Realizado por: Andrés Merino, 2018

La tabla 2-3 da a conocer que para la investigación se trabajó con cuatro tratamientos a distintas concentraciones y con tres repeticiones cada uno, siendo el T1 el tratamiento control sin ceniza volcánica, T2 con 190 kg de residuos vegetales y 10 kg de ceniza, T3 con 180 kg de residuos vegetales y 20 kg de ceniza, T4 con 170kg de residuos vegetales y 30 kg de ceniza volcánica.

**Tabla 2-3:** Factores del estudio.

<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración de ceniza volcánica</b>	<b>Repeticiones</b>
T1	0%	3
T2	5%	3
T3	10%	3
T4	15%	3

**Realizado por:** Andrés Merino, 2018

En la tabla 3-3 se observa los resultados del análisis de varianza ANOVA realizado en el programa estadístico Infostat, en el cual se trabaja con una de significancia de 0,05. Para entender los resultados únicamente se ilustra los datos de los tratamientos donde p-valor superiores a 0,05 demuestran que no existe diferencia significativa entre tratamientos y p-valor menor a 0,05 demuestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Diseño completamente al azar con pruebas de significación.

T R A T A M I E N T O	FÍSICO-QUÍMICOS			QUÍMICOS						BIOLÓ- GICO
	pH	CE	HUMEDAD	C/N inicial	C/N final	MO	NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO	IG
p- valor	0,099 NS	0,033 **	0,855 NS	0,375 NS	0,864 NS	0,209 NS	0,777 NS	0,011 **	0,027 **	0,768 NS

Tabla 3-3: Cuadro de análisis de varianza ANOVA  
Realizado por: Andrés Merino, 2018 mediante programa estadístico Infostat

La tabla 3-3 muestra que en el caso del fósforo, potasio y conductividad eléctrica el nivel de significancia es menor a 0,05 lo que significa que sí existen diferencias significativas entre las medias de los valores de estos parámetros, por lo que al menos un tratamiento es diferente.

Aplicado el análisis de varianza arrojó como resultado que los tratamientos con los que se trabajó en esta investigación a concentraciones de 0%, 5%, 10% y 15%, influyen directamente sobre las variables fósforo, potasio, y conductividad eléctrica ya que como se observa en la tabla 3-3 de ANOVA, los valores de nivel de significancia de estas variables son menores a 0,05.

A continuación se procede a describir los resultados obtenidos en la investigación basándonos en los criterios del análisis estadístico realizado, la explicación de resultados se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Parámetros de control
- Parámetros fisicoquímicos
- Parámetros químicos
- Parámetros biológicos

### **3.2. Parámetros de control durante el proceso de compostaje.**

#### **3.2.1. Temperatura**

En el gráfico 1-3 se muestra las temperaturas promedio de todas las composteras a lo largo del proceso de compostaje, donde en el eje X están los días y en el eje Y los valores de temperatura expresados en °C.

La temperatura partió de 45°C debido a que los residuos vegetales no se los colocaban en las composteras inmediatamente que se los recolectaban, sino que se los acumulaba y diariamente se los mezclaba con material fresco durante un mes que duró la recolección de la materia prima, de manera que ya inició un proceso fermentativo lo que ocasionó que la temperatura inicial fuera más elevada que la ambiente.

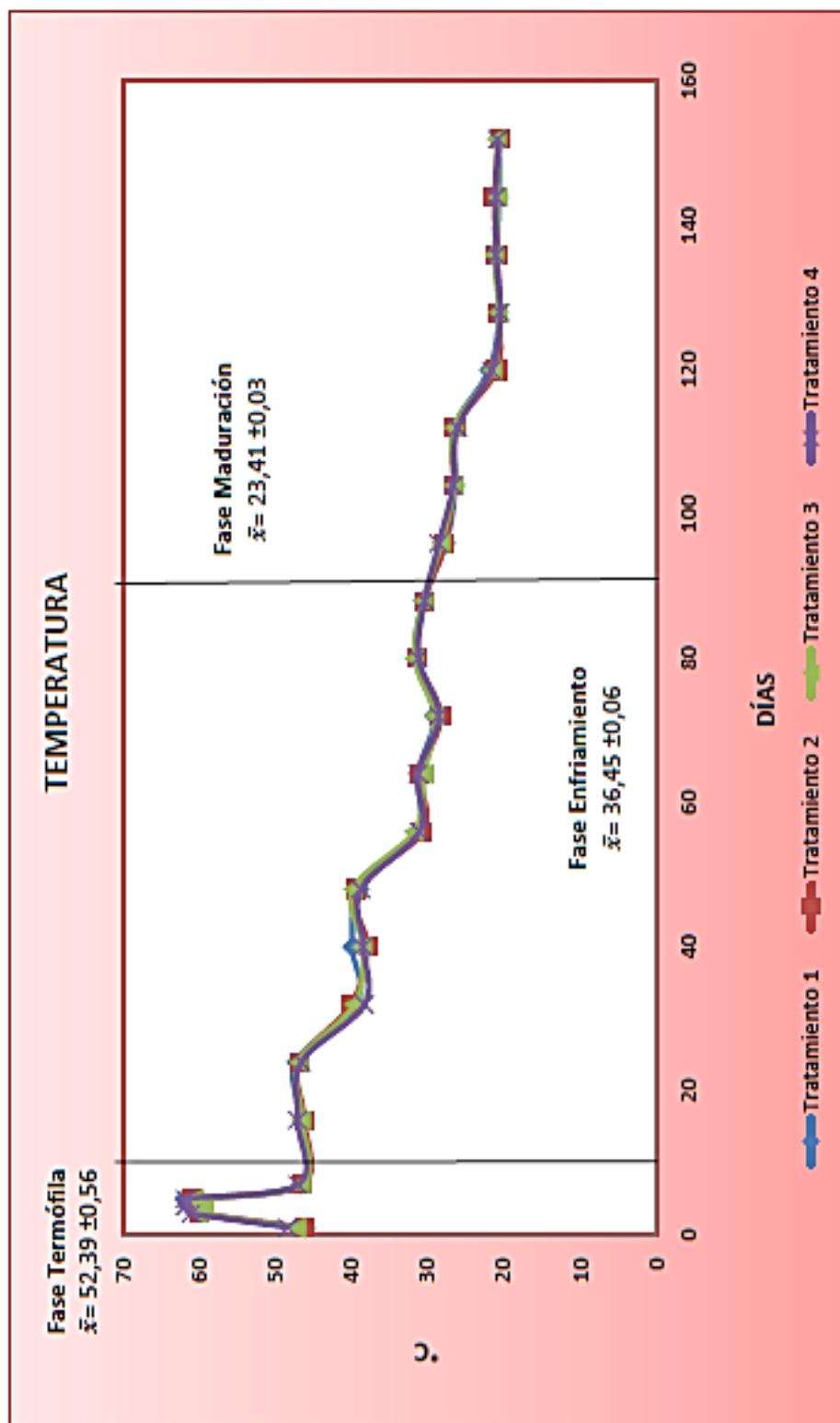
Posterior a esto la temperatura de las composteras se elevó hasta 65°C, manteniendo temperaturas similares por aproximadamente 10 días, esto indica la fase termófila donde la temperatura promedio de los cuatro tratamientos fue de 52,39 °C con una desviación estándar de 0,56; posterior a esto la temperatura de los tratamientos empezó a descender hasta una temperatura entre 30 y 45°C, así empieza la fase de enfriamiento donde el promedio fue 36,45

°C con una desviación estándar de 0,06; terminada esta fase empezó la de maduración, la misma que se inició una vez que realizado el último volteo la temperatura ya no se elevó manteniendo una igual a la ambiente donde el promedio fue de 23,41 °C con una desviación estándar de 0,03.

Según (Silva et al, 2003, p.4) la fase termófila inicia a las 56 horas y puede tener una duración de 15 días, es aquí donde la mayor parte de la materia orgánica vegetal se degradó a gran velocidad, todo tipo de patógeno empezará a morir y las semillas perderán la capacidad de germinar (Román et al. 2013, p. 23).

Cuando la temperatura comienza a descender arranca la fase de enfriamiento, aquí la materia prima sigue degradándose aunque a menor velocidad. (Román et al. 2013, p. 24). La fase de enfriamiento tuvo una duración de 80 días, y se incrementaba un poco únicamente cuando se realizaba un volteo.

Alcanzada la temperatura ambiente se dejaron que las composteras maduren por 62 días para que terminen las reacciones bioquímicas que aumentan la humificación y así obtener una materia orgánica más estable y con mejores propiedades biológicas, físicas y químicas, lo que conllevará a obtener valores ideales en cuanto a parámetros de calidad.



**Gráfico 1-3: Comparación de temperaturas promedio entre los cuatro tratamientos durante el proceso de compostaje**  
 Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 3.2.2. pH

La gráfica 2-3 muestra la comparación de pH promedio de los cuatro tratamientos durante el proceso de compostaje donde en el eje X se muestra los días y en el eje Y los valores de pH.

El pH en el proceso de compostaje de todas las composteras disminuyó a valores entre 5 y 5,5 en los primeros días como se observa en la figura 2-3, debido a la descomposición del material orgánico y la formación de ácidos orgánicos, en la primera fase se calculó un promedio de 6,75 con una desviación estándar de 0,06; conforme los días avanzaban el pH empezó a ascender llegando incluso a ser alcalino con valores de 8 y 8,5 gracias a la transformación de amonio en amoníaco, aquí en la segunda fase se obtuvo una media de 7,60 con una desviación estándar de 0,03; durante el resto del proceso el pH se estabilizó en valores casi neutros de 7 a 8 manteniéndose casi constante durante la etapa de maduración esta etapa dio como media un valor de 7,50 con una desviación estándar de 0,02.

(Román et al. 2013, p. 29) indica que cuando el pH baja a menos de 4,5 es porque se están produciendo demasiados ácidos orgánicos que puede darse por un exceso de material orgánico de cocina o restos de frutas y cuando supera los 8,5 indica que hay mucho nitrógeno en las compostera.

En las composteras durante todo el proceso de compostaje se comprobó que el pH fue el adecuado ya que no bajo a menos de 5 ni superó los 8,5 encontrándose dentro de los rangos ideales para un correcto proceso de compostaje.

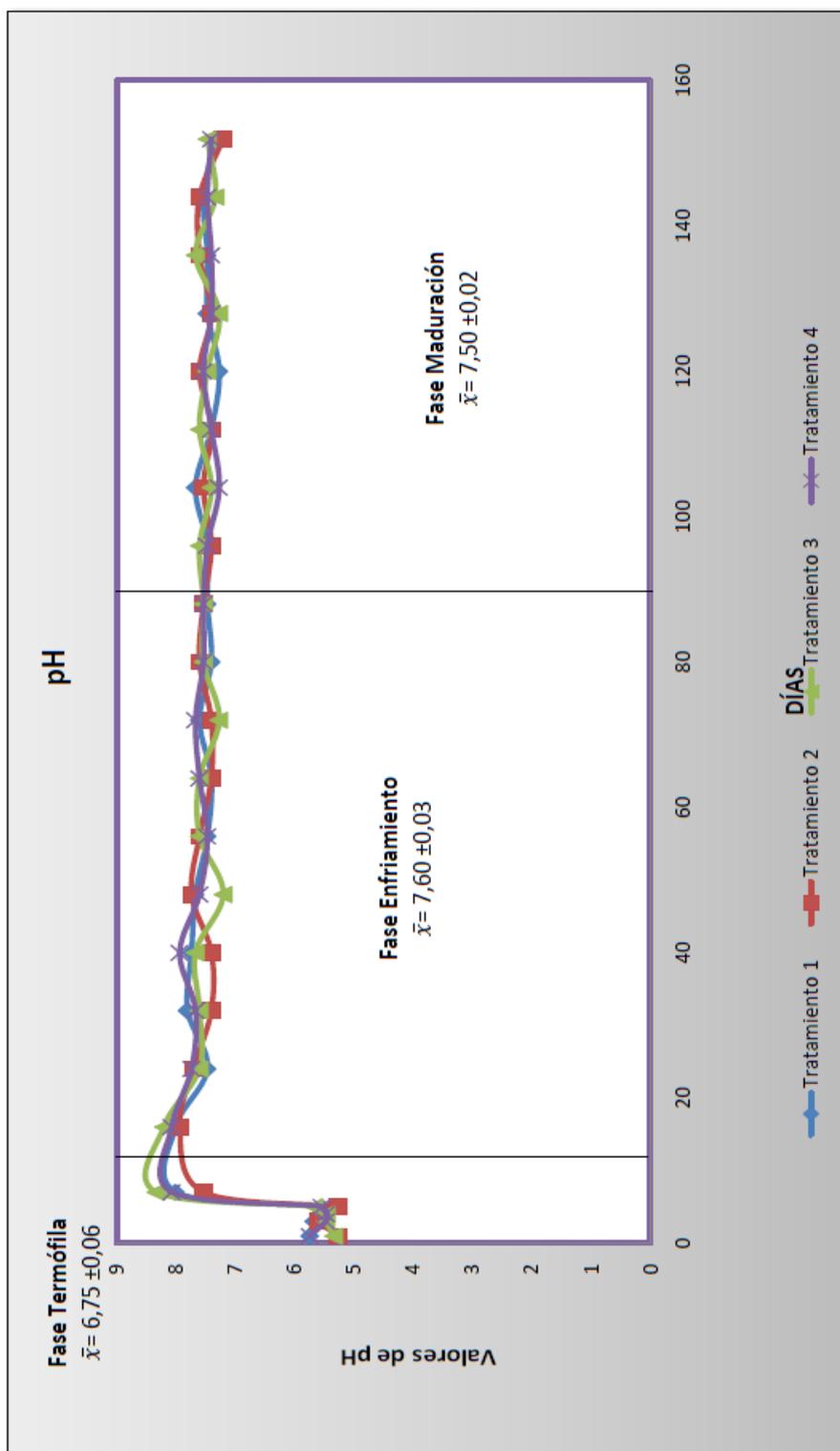


Gráfico 2-3: Comparación de pH promedio entre los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje. Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 3.2.3. *Humedad*

La gráfica 3-3 muestra los promedios de humedad durante el proceso de compostaje donde en el eje X se muestran los días que duró el compostaje y en el eje Y los valores de humedad expresados en porcentaje.

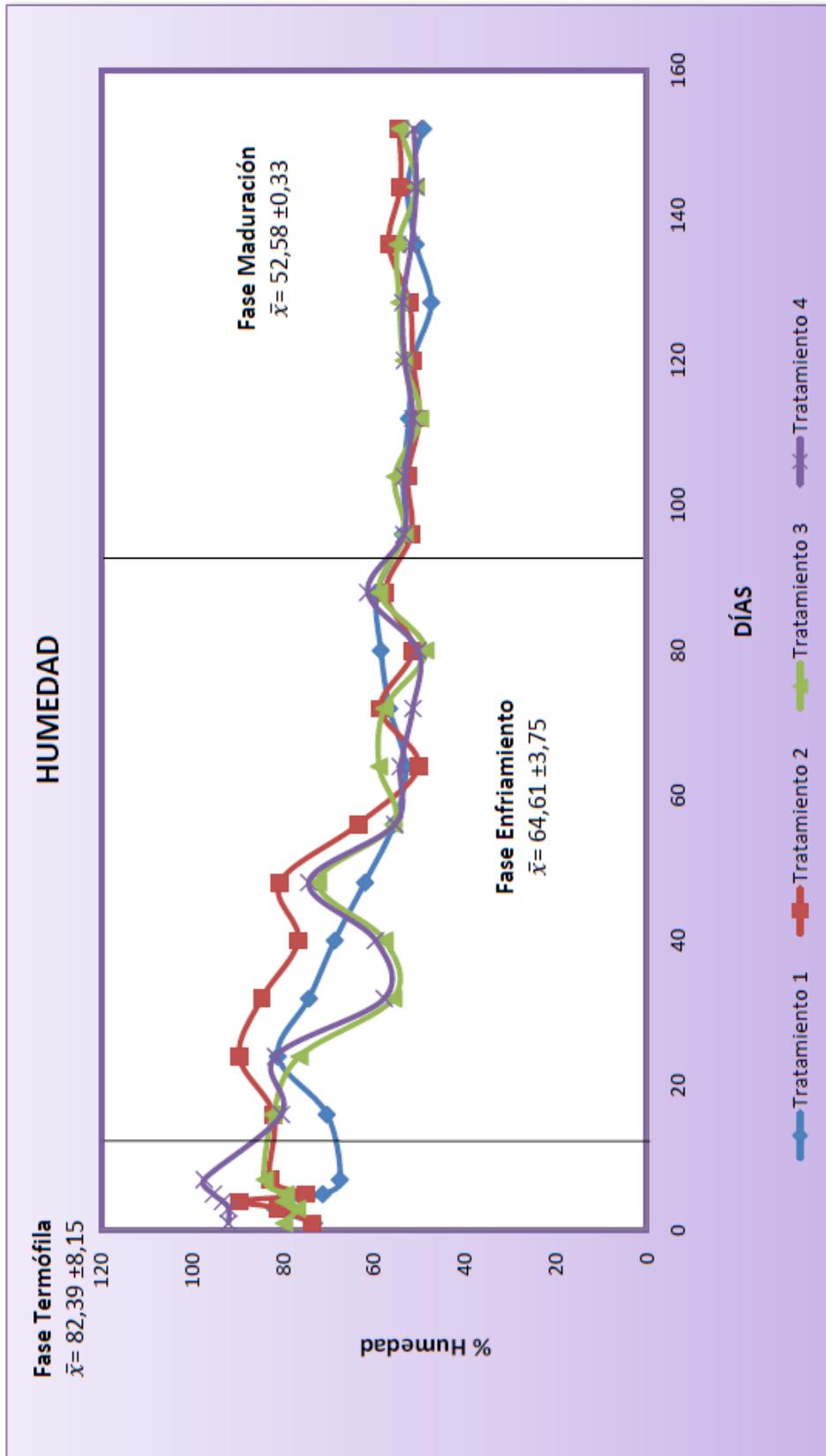
En el arranque del compostaje la humedad partió de un 70%, conforme avanzaban los días esta aumentaba llegando incluso al 100% como se observa en la gráfica 3-3, esto se debe a la descomposición del material orgánico y a que los residuos vegetales utilizados eran ricos en humedad como la col, lechuga, zanahoria, achogchas, frutas; gracias a ellos no existía la necesidad de regar las composteras, en la primera etapa se obtuvo un promedio de humedad de 82,39% y una desviación estándar de 8,15 lo que se debe a que no todas las composteras poseían la misma cantidad de humedad.

Aproximadamente a los 15 días la humedad empezó a disminuir debido a la temperatura ambiente y a la aireación existente en cada compostera, en esta segunda etapa la humedad promedio entre los cuatro tratamientos era de 64,61% con una desviación estándar de 3,75 es porque la humedad aún no se estabilizaba.

Aproximadamente en el día 90 la humedad de las composteras se estabilizó, en esta etapa el promedio entre los tratamientos fue de 52,58 y una desviación estándar de 0,33.

Cuando el porcentaje de humedad se acercaba al 40% se procedía a regar cada una de las composteras intentando mantener una humedad entre 50 y 60 %. Según (Bueno et al, 2008, p. 13) para el crecimiento microbiano la humedad más óptima debe estar entre el 50-70 % , ya que si esta desciende mucho es decir por debajo del 30% la actividad biológica va a disminuir y si supera el 70% se puede producir una putrefacción del material.

En las composteras únicamente al inicio del proceso la humedad superó el 70% esto es normal ya que al empezar la degradación del material orgánico se va a desprender agua de los materiales verdes y frutas, por esto al comienzo del proceso no fue necesario añadir agua a las composteras, fue suficiente con la humedad del material de partida.



**Gráfico 3-3:** Comparación de humedad promedio entre los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje.  
 Realizado por: Andrés Merino, 2018

### 3.3. Parámetros físico-químicos

Como se observa en la tabla 3-3 de análisis de varianza ANOVA los p-valor tanto para pH y humedad son mayores a 0,05 por lo cual se dice que no presentan diferencias significativas, la conductividad eléctrica arrojó un p-valor por debajo de 0,05 lo que significa que existen diferencias significativas entre los tratamientos, para verificar esto se realiza un cuadro de medias para mediante la prueba LSD Fisher determinar las diferencias entre las medias de los tratamientos.

**Tabla 4-3:** Cuadro de medias de parámetros físico-químicos

	TRATAMIENTO	Medias	
<b>CE</b>	1 (0%)	2,88	A
	2 (5%)	2,5	A B
	3 (10%)	1,75	B
	4 (15%)	1,65	B
<b>HUMEDAD</b>	1 (0%)	46,51	A
	3 (10%)	45,89	A
	2 (15%)	45,05	A
	4 (15%)	44,89	A
<b>pH</b>	3 (10%)	7,5	A
	2 (5%)	7,43	A B
	4 (15%)	7,26	A B
	1 (0%)	7,24	B

**Realizado por:** Andrés Merino, 2018 mediante programa estadístico Infostat.

Como se observa en la tabla 3-3 de análisis de varianza ANOVA nos muestra que únicamente la conductividad eléctrica presenta diferencias entre las medias de los tratamientos.

La tabla 4-3 informa sobre los valores de conductividad eléctrica del compost de cada tratamiento medidos en el laboratorio, el test LSD Fisher indica que si existen diferencias significativas entre los tratamientos mostrando dos grupos, los tratamientos 1 y 2 el primer grupo y los tratamientos 2,3 y 4 el segundo grupo, existiendo diferencias significativas entre ambos.

La conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje tiende a subir, esto se debe a la mineralización que sufre la materia orgánica, lo cual hace que incremente la concentración de los minerales, también sufre un descenso producido por la lixiviación. Al finalizar el proceso de

compostaje los valores de conductividad eléctrica no deben ser mayores a 3000 uS/cm = 3mS/cm (Gordillo & Chávez, s.f, p. 4)

### 3.4. Parámetros químicos.

En cuanto a los parámetros químicos la tabla 3-3 de análisis de varianza ANOVA los p-valores para materia orgánica, nitrógeno y relación C/N final tuvieron valores por encima de 0,05 dando a conocer que no existe diferencias significativas, pero los p-valores para fósforo y potasio estuvieron por debajo de 0,05 mostrando que si existen diferencias significativas entre los tratamientos para estos parámetros.

Realizado el cuadro de medias para que mediante el test LSD Fisher determinar las diferencias entre los tratamientos se puede dar a conocer los siguientes resultados.

**Tabla 5-3:** Cuadro de medias de parámetros químicos

	TRATAMIENTO		Medias	
	<b>MO</b>	1	(0%)	78,35
2		(5%)	77,97	A
3		(10%)	78,93	A
4		(15%)	75,83	A
<b>NITRÓGENO</b>	1	(0%)	1,77	A
	3	(10%)	1,67	A
	2	(5%)	1,66	A
	4	(15%)	1,47	A
<b>P2O5</b>	1	(0%)	0,87	A
	2	(5%)	0,66	B
	3	(10%)	0,43	C
	4	(15%)	0,37	C
<b>K2O</b>	1	(0%)	4,28	A
	2	(5%)	3,96	A B
	3	(10%)	2,95	B C
	4	(15%)	2,86	C
<b>C/N final</b>	1	(0%)	27,06	A
	2	(5%)	26,71	A
	3	(10%)	25,95	A
	4	(15%)	25,38	A

Realizado por: Andrés Merino, 2018 mediante programa estadístico Infostat

### **3.4.1. *Materia orgánica del compost***

La tabla 5-3 indica los valores medios de materia orgánica presente en el compost que se obtuvo con cada uno de los tratamientos, el test LSD Fisher indica que no existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos.

Estos valores se obtuvieron analizando el compost maduro en el laboratorio, la materia orgánica es un parámetro muy importante en el compostaje ya que este aporta N, P, K y micronutrientes lo cual va a mejorar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, además actúa como una fuente de nutrición para todos los microorganismos (López, 2010, p.37).

Durante todo el proceso de compostaje la materia orgánica (MO) tiende a sufrir un descenso producto de la mineralización y a la pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub>, estas pérdidas pueden llegar a representar el 20% en peso de la masa composteada (Zucconi et al, 1987; citados en López, 2010, p.98).

De acuerdo con (Román et al, p. 31) el porcentaje en peso de materia orgánica para compost maduro debe ser mayor al 20%, demostrando que el compost obtenido con los cuatro tratamientos cumplen con este rango, lo que da a conocer la calidad del mismo.

### **3.4.2. *Contenido de nitrógeno***

La tabla 5-3 da a conocer el contenido de nitrógeno del compost de cada tratamiento, explicando que según el test LSD Fisher para la comparación de medias, no existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual muestra que se puede optar por cualquiera de los cuatro tratamientos ya que todos son iguales en cuanto a este elemento.

La (norma chilena, 2003, p. 11) para contenido de nitrógeno en compost indica que para que un compost pueda ser comercialmente aceptable el porcentaje de nitrógeno debe ser mayor a 0,80%. En este caso todos los valores de nitrógeno de cada uno de los tratamientos cumplen con este indicador de calidad, ya que todos se encuentran por encima del valor de aceptación (T1= 1,77; T2= 1,66; T3= 1,67; T4= 1,47).

### **3.4.3. *Contenido de Fósforo expresado en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>***

El test LSD Fisher de la tabla 5-3 muestra que únicamente los tratamientos 3 y 4 no presentan diferencias significativas.

Los datos de fósforo obtenidos del análisis de las composteras representadas como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Óxido de Fosfórico) determinadas en los laboratorios de Agrocalidad en la ciudad de Quito-Tumbaco, arrojaron valores de (T1= 0,88; T2= 0,66; T3= 0,43; T4= 0,37) siendo estos valores aceptables

para un compost de calidad ya que según (Román et al, 2013, p. 36) en el manual de compostaje del agricultor el porcentaje de Fósforo debe tener un rango entre 0,1% - 1,0%.

Como se puede observar en el gráfico 5-3 a mayor contenido de ceniza menor es la cantidad de fósforo existente en el compost, esto se debe a que el tratamiento 1 no posee ceniza volcánica y partió en el proceso con 200 kg de residuos vegetales, entonces con los demás tratamientos que poseen ceniza cada compostera poseía menos material vegetal ya que al aumentar el porcentaje de ceniza el porcentaje de residuos vegetales disminuía, por lo cual al tener menor contenido orgánico se va a producir una menor cantidad de fósforo, y el poco contenido de este mineral que aporta la ceniza se puede ir incorporando a otros horizontes del suelo debido a la lixiviación del material orgánico y a los riegos realizados para el control de la humedad. Entonces a mayor concentración de ceniza volcánica menor será la cantidad de fósforo obtenido.

#### **3.4.4. Contenido de Potasio $K_2O$**

El test LSD Fisher muestra tres grupos distintos donde los tratamientos 1y2 no presentan diferencias significativas, 2y3 tampoco presentan diferencias significativas, finalmente 3y4 tampoco presentan diferencias significativas, pero entre los 3 grupos si existen diferencias significativas.

Los valores de potasio expresados como  $K_2O$  también analizados en laboratorios de Agrocalidad en la ciudad de Quito-Tumbaco, arrojaron valores de aceptación ya que de todas las composteras el porcentaje de potasio es mayor al 1% y (Bohórquez et al, 2014, p.78) dice que el porcentaje de potasio para un compost de calidad debe ser mayor al 1%.

De la misma manera que en el caso del fósforo al aumentar el contenido de ceniza el potasio tiende a disminuir, esto se da ya que mientras más ceniza coloquemos en las composteras la cantidad de residuos vegetales va a disminuir y al haber menos contenido orgánico se generara una menor cantidad de potasio, de igual forma la poca cantidad de potasio que le brinda la ceniza volcánica al compost se ira infiltrando al suelo producto de la lixiviación y por los riegos realizados a las composteras durante todo el proceso.

#### **3.4.5. Relación C/N final**

La tabla 5-3 da a conocer los valores medios de la relación C/N final del compost obtenido con cada tratamiento, estos valores son muy importantes ya que muestran la calidad del producto, una vez realizado en test LSD Fisher da a conocer que no existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, siendo todos aptos para ser utilizados.

(Román et al. 2013, p. 31) dice que la relación C/N ideal para compost maduro de 6 meses el rango óptimo se encuentra entre 10-15:1, en la figura 7-3 se puede observar que todos los tratamientos se encuentran dentro de este rango demostrando que la calidad del compost de cada tratamiento es el ideal para ser comercializado teniendo valores de: T1=12,86/1 T2=12,84/1 T3=12,77/1 T4=12,59/1

El tratamiento T1 pose el valor más alto en la relación C/N, pero no quiere decir que sea mejor que los demás ya que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de aceptación para decir que el producto es de calidad.

### 3.5. Parámetro biológico

En cuanto al parámetro biológico la tabla 3-3 de análisis de varianza ANOVA el p-valor para el índice de germinación estuvo por encima de 0,05 indicando que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, para corroborar este dato se procede a realizar el cuadro de medias y por el test LSD Fisher dar a conocer que de verdad no existen diferencias entre las medias de cada tratamiento.

**Tabla 6-3:** Cuadro de medias de parámetro biológico.

<b>test: LSD Fisher Alfa= 0,05 DMS= 5,16539</b>			
Error: 7,5262 gl: 8			
<b>IG</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Media</b>	
	3 (0%)	91,41	A
	2 (5%)	90,83	A
	1 (10%)	89,87	A
	4 (15%)	89,21	A

**Realizado por:** Andrés Merino, 2018 mediante programa estadístico Infostat

#### 3.5.1. Índice de Germinación

La tabla 6-3 ilustra los porcentajes medios de índice de germinación del compost obtenido con los cuatro tratamientos los cuales se obtuvieron luego de su respectivo análisis en el laboratorio, en el test LSD Fisher se observa que no existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos.

El porcentaje de germinación de las semillas es un estudio para determinar la toxicidad dentro del compost, los resultados son influenciados por la presencia de componentes fitotóxicos y por una elevada salinidad (Soliva et al, 2004, p. 15)

Según (Emnio y Warman, 2004; citados en Chávez, 2015, p. 69) los valores de índice de germinación que son menores al 50% muestran una fitotoxicidad muy alta en el material, un índice de germinación entre 50% - 80% muestran que existe fitotoxicidad moderada, mientras que valores superiores al 80% el material no presenta fitotoxicidad.

Entonces se dice que los compost obtenido con los cuatro tratamientos son de calidad porque superan el 80%, demostrando que ningún tratamiento presenta fitotoxicidad.

## CONCLUSIONES

- Recolectado el material orgánico vegetal y la ceniza volcánica, se analizó los valores de la relación C/N para el arranque del compostaje los cuales fueron (T1=27,06; T2=25,96; T3=26,71; T4=25,38), siendo valores idóneos para un correcto proceso.
- Se obtuvo un compost terminado el proceso de compostaje que tuvo una duración de 152 días (5 meses), controlando a lo largo del tiempo factores como temperatura, pH, humedad, relación C/N, conductividad eléctrica, además de materia orgánica y NPK que determinan su madurez.
- Analizados los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica); químicos (Materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio); y biológicos (Índice de Germinación) del compost obtenido de cada tratamiento, se comprobó que cada uno se encuentra dentro de los límites permisibles, quedando demostrado que la ceniza volcánica si puede ser utilizada para la elaboración de un compost de buena calidad, siendo válido para fines agrícolas o comerciales.
- Al aumentar el porcentaje de ceniza volcánica en las composteras el contenido de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  tiende a disminuir.
- La ceniza volcánica no acelera el tiempo de descomposición de la materia orgánica de origen vegetal por lo que en los cuatro tratamientos no hubo una diferencia significativa en el tiempo de obtención del compost.

## RECOMENDACIONES

- Realizar otros tratamientos con mayor porcentaje de ceniza con el propósito de determinar si a una mayor concentración altera la calidad del compost.
- Utilizar otro tipo de residuos orgánicos para formar las composteras y determinar que sucede al mezclar con ceniza volcánica.
- Preparar tratamientos con ceniza de otro volcán y verificar si su composición altera la calidad del compost.
- Realizar el proceso de compostaje con un sistema de aireación forzado.
- Probar el compost obtenido de cada tratamiento en campo para determinar su calidad en el crecimiento de plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

**Acuña, Oscar.** *El uso de biofertilizantes en la agricultura.* Taller de abonos orgánicos. Laboratorio de Bioquímica de Procesos Orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. 2003. pp. 2-3.

**Alcaide Tur, Ángel.** *Residuos Sólidos Urbanos una Consecuencia de la Vida* (tesis). Universidad Jaime I. España. 2012. pp. 2.

**Alcolea, Miriam., & Gonzáles, Cristina.** *Manual de compostaje en casa.* [En línea]. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. España. 2000. pp.27-30. [Consulta: 06 abril 2018]. Obtenido de: [www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf](http://www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf)

**Altamirano Flores, María., & Cabrera Carranza, Carlos.** Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG.* vol 9. n° 17. (2006). Perú. pp. 80-83.

**Alvarez, Marco.,& Avilés, José.** *Ceniza volcánica: un nuevo agente de contaminación Química.*[En línea]. Unidad de preparación para Desastres Químicos, Ministerio de Salud Pública. s.f. pp. 5-6. [Consulta 10 abril 2018]. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/ceniza/ceniza.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/ceniza/ceniza.pdf)

**Alvarez Rodríguez, Jorge.** *Alternativa de complemento (Biofermentos).* Área de Investigación y Desarrollo Fundación Proagroin. 2010. pp. 1.

**Ambientum.** *Reacción carbono nitrógeno.*[ En línea ]. Enciclopedia virtual. s.f. [ Consulta: 04 abril 2018]. Disponible en : <http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.66.26.21r.html>

**ATLAS.** *Biodiesel.* Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas. San José, Costa Rica. 2010. pp. 7-10.

**Benson, Charlotte,** *Volcanoes and the economy.* En: *Volcanoes and the Environment.*[En línea]. Cambridge. (2005).pp. 440-468. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: [www.univpgr-palembang.ac.id/.../Economic%20Geography/Volcano%20dan%20lin...](http://www.univpgr-palembang.ac.id/.../Economic%20Geography/Volcano%20dan%20lin...)

**Berenstecher, Paula., & Gangi, Daniela.** *Las cenizas volcánicas producirán un efecto benéfico sobre los ecosistemas.* [En línea]. Infocampo. 2016. Pp. 1. [Consulta: 10-06-2017]. Disponible en:

<http://www.infocampo.com.ar/las-cenizas-volcanicas-produciran-un-efecto-benefico-sobre-los-ecosistemas-afectados/>

**Bohórquez et al.** Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Corpoica Cienc. Technol. Agropecu.* Colombia. 2014. pp. 76-78.

**BUAP.** *Beneficiosa la ceniza volcánica para suelos y plantas.* [En línea]. [Consulta: 10 junio 2017]. Disponible en:

[http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/wb/comunic/beneficiosa\\_la\\_ceniza\\_volcanica\\_para\\_suelos\\_y\\_1831](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/wb/comunic/beneficiosa_la_ceniza_volcanica_para_suelos_y_1831)

**Bueno et al,** *Factores que afectan al proceso de Compostaje.* [En línea]. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica. Universidad de Huelva. España. 2008. [Consulta: 13 marzo 2018]. pp. 1-16. Disponible en:

<http://digital.csic.es/handle/10261/20837>

**Cárdenas, Julián.** *Que es la correlación bivariada y como analizarla.* [Blog]. 9 octubre 2013. [Consulta: 04 julio 2018]. Disponible en:

<http://networkianos.com/que-es-la-correlacion-bivariada-y-como/>

**Centro Nacional de Prevención de Desastres.** *Que es la ceniza Volcánica.* [Blog]. 06 de noviembre de 2017. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible en:

<https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-la-ceniza-volcanica>

**Chávez Pérez, Patricia.** *Caracterización físicoquímica y madurez del compost de las ciudades de Tingo María y Aucayacu mediante test de autocalentamiento.* [En línea]. Laboratorio de calidad ambiental de la Nación Agraria de la Selva. 2015. Pp. 69. [Consulta: 20-05-2018]. Disponible en:

[https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/INFORME%20FINAL%20PPP%20-%20CD.pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/INFORME%20FINAL%20PPP%20-%20CD.pdf)

**Compost Andalucía.** *Use el compost en agricultura, viveros y paisajismo.* [En línea]. Junta de Andalucía. Empresa de gestión ambiental. s.f. pp.3-11. [Consulta: 09 abril 2018]. Obtenido de: [agrega.educacion.es/repositorio/08042014/8e/es.../8\\_usos\\_del\\_compost.html](http://agrega.educacion.es/repositorio/08042014/8e/es.../8_usos_del_compost.html)

**Cremona et al.** *Las cenizas volcánicas y los suelos de la región*. [En línea]. Laboratorio de suelos y aguas INTA Bariloche. s.f. pp. 1-4. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cenizasysuelos.pdf>

**García et al.** *Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas*. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Internacional del Ecuador. 2014. N° 26. pp. 1-11.

**Gimeno, Juanjo.** *El lombricompost: un alimento para el suelo fabricado por las lombrices de tierra*. [En línea]. ecomaria. 2006. [Consulta: 16 febrero 2018]. Disponible en: <http://ecomaria.com/blog/el-lombricompost-un-alimento-para-el-suelo-fabricado-por-las-lombrices-de-tierra/>

**González, Elena.** *Peligros y riesgos volcánicos en biogeografía: Efectos sobre la vegetación*. [En línea]. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Castilla-La Mancha. 2006. pp. 1-9. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/%C3%A1vila.pdf>

**Gordillo, F., & Chávez, E.** *Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros*. [En línea]. Escuela superior politécnica del litoral. Centro de investigación científica y centro de investigación científica y tecnológica. Guayaquil. pp. 3-4. [Consulta: 17 mayo 2018]. Disponible en : <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf>

**Gracia, Carlos.** *Biocombustibles: energía o alimento*. [En línea]. 2009. [Consulta: 17 febrero 2018] pp. 77. Disponible en: [www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Capítulo%204\\_Bioetanol.pdf](http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Capítulo%204_Bioetanol.pdf)

**Guerrero, Luz.** *¿Qué es el biogás?* [En línea]. ABOUT ESPAÑOL. 2012. [Consulta: 01 marzo 2018]. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/que-es-el-biogas-3417682>

**Infoagro.** *Sistemas de compostaje*. [En línea]. 2016. pp. 1. [Consulta: 06 abril 2018]. Obtenido de: <http://infoagro.com/mexico/sistemas-de-compostaje/>

**Jaramillo Henao, Gladys., & Zapata Márquez, Liliana María.** *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia* (tesis). (Maestría). UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Colombia. 2008. pp. 25-34.

**Lede, Silvia.** *Los biocombustibles*. ArgenBio Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. Argentina. s.f. pp. 1.

**López Wong, Wendy.** *Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol*. (tesis maestría). Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada. Tlaxcala-México. 2010. pp. 37-98.

**Macas, Luis.** *Tungurahua: ceniza por banano*. [En línea]. La Hora. 2003. Pp.1. [Consulta 15 junio 2018]. Disponible en:

<https://lahora.com.ec/noticia/1000176029/tungurahua-ceniza-por-banano>

**MAG.** *Elaboración y uso del Bocashi*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador. 2011. pp.8.

**Martínez, Porfirio.** *Beneficiosa la ceniza volcánica para suelos y plantas*. [En línea]. Inforural. 2012. pp.1. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en:

<https://www.inforural.com.mx/beneficiosa-la-ceniza-volcanica-para-suelos-y-plantas/>

**Merino Cercos, Sofía.** *Que es el compost*. [En línea]. Nueva Mujer. 2012. [Consulta: 09 abril 2018]. Obtenido de:

<https://www.nuevamujer.com/bienestar/2012/11/04/que-es-el-compost.html>

**Mesquida, Facundo.** *Las cenizas volcánicas producirían un efecto benéfico sobre los ecosistemas*. [En línea]. InfoCampo. 2016. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible en: <http://www.infocampo.com.ar/las-cenizas-volcanicas-producirian-un-efecto-benefico-sobre-los-ecosistemas-afectados/>

**Mora, Enma.** *Ecuador: la ceniza volcánica se recoge para abono en la agricultura*. [En línea]. El periódico del campo. 2014. pp.1 [Consulta: 10 junio 2017]. Disponible en:

<http://elproductor.com/noticias/ecuador-la-ceniza-volcanica-se-recoge-para-abono-en-la-agricultura/>

**Negro et al.** *Producción y gestión del compost.*[En línea]. Centro de Ciencias Medioambientales. 2000. pp. 1-31. [Consulta: 04 abril 2018]. Disponible en: [digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf)

**Pabellón verde.** *Monitoreo del Compostaje* . [En línea]. 2015. [Consulta: 13 marzo 2018]. pp. 1. Disponible en: <https://pabellonverde.wordpress.com/2015/05/24/monitoreo-del-compostaje/>

**OrganicSa.** *Relación C:N en el compost.* [En línea]. s.f. [Consulta: 04 abril 2018]. Disponible en: <http://organicsa.net/relacion-cn-en-el-compost.html>

**Paláez D, Carlos., & Restrepo G, Alejandro.** *Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite.* [En línea]. AMBISA S.A. Medellín, Colombia. 2004. pp. 5. [Consulta: 05 marzo 2018]. Disponible en : [www.angelfire.com/co4/palmaceite/compostaje.pdf](http://www.angelfire.com/co4/palmaceite/compostaje.pdf)

**Palmero, Rafael.** *Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones.* [En línea]. Servicio técnico de agricultura y desarrollo rural área de aguas y agricultura. 2010. pp. 3-4. [Consulta: 10 abril 2017]. Obtenido de: [www.resol.com.br/cartilhas/manualcompostaje-170110212253.pdf](http://www.resol.com.br/cartilhas/manualcompostaje-170110212253.pdf)

**Parra Oviedo, Carolina.** *Caracterización de poblaciones microbianas en dos tipos de estiércol, durante el proceso de compostaje.*[Tesis].[En línea]. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 2008. pp. 16. [Consulta: 20-05-2018]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8813/tesis760.pdf?sequence=1>

**Picado, Jaime., & Añasco, Alfredo.** *Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos.* [En línea]. Unidad de capacitación CEDECO. San José, Costa Rica. 2005. pp. 19-23. [Consulta 06 marzo 2018]. Disponible en: [http://cedeco.or.cr/files/Abonos\\_organicos.pdf](http://cedeco.or.cr/files/Abonos_organicos.pdf)

**Roca, Ana,** *Factores que influyen en el proceso de compostaje de residuos.* [En línea]. InfoAgro. s.f. [Consulta: 13 marzo 2018]. pp. 1. Disponible en: [http://www.infoagro.com/hortalizas/factores\\_influyen\\_compostaje\\_residuos.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/factores_influyen_compostaje_residuos.htm)

**Román et al.** *Manual de compostaje del agricultor.* [En línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile. 2013. pp. 23-94. [Consulta 05 marzo 2018]. Disponible en : [www.fao.org/3/a-i3388s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf)

**Ruíz, Alejandro.** *La ceniza volcánica enriquece la tierra, puede usarse para composta.* [En línea]. Ciencia y Tecnología. 2012. pp. 1. [Consulta: 16 junio 2018]. Disponible en: <https://ladobe.com.mx/2012/04/la-ceniza-volcanica-enriquece-la-tierra-puede-usarse-para-composta/>

**Sacho, Jorge.** *Propiedades de la ceniza del Turrialba benefician los suelos.* [En línea]. La prensa libre. 2015. Pp.1. [Consulta 15 junio 2018]. Disponible en: <http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/17441-propiedades-de-las-ceniza-del-turrialba-benefician-los-suelos>

**Salinas Callejas, Edmar., & Gasca Quezada, Víctor."** Los Biocombustibles". *El Cotidiano*, n° 157, (2009). (México). pp.78.

**Schuldt Miguel.** Componentes carbono/Nitrógeno. [En línea]. Manual de lombricultura. 2012. pp.1. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/23518.html>

**Silva et al.** *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje.* [En línea]. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR). Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. Cali-Colombia. 2003. pp. 5. [Consulta: 06 junio 2018]. Disponible en: <bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3743/1/CD-3437.pdf>

**Soliva, Montserrat., & López, Marga.** *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso.* [En línea]. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. UPC. 2004. pp. 15. [Consulta: 20-05-2018]. Disponible en : [mie.esab.upc.es/ms/recerca\\_experimentacio/.../Calidad%20compost%20lodos.pdf](mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/.../Calidad%20compost%20lodos.pdf)

**Soto, Gabriela.** *Abonos Orgánicos: El proceso de Compostaje* (tesis). Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2003. pp. 33-34.

**Suárez, Mario.** *Coefficiente de correlación de Karl Pearson.* [En línea]. s.f.[Consulta: 04 julio 2018]. Disponible en: <repositorio.utn.edu.ec/.../Coeficiente%20de%20Correlación%20de%20Karl%20Pearso...>

**Suárez, Sebastián.** *El proceso de compostaje.* [En línea]. Granja Agrícola Experimental. 2012. Pp. 89-92. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <anuariosatlanticos.casadecolon.com/index.php/GRANJA/article/view/9863/9358>

**UAESP.** *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura.* Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.(s.f). pp. 37-77.

**Taboeda et al.,** *Etapas del proceso de compostaje.* [En línea]. Grupo de Gestión de Residuos. Proyecto de gestión de residuos orgánicos. Facultad Ciencias. Universidad de La Coruña. La Coruña, España. 2009. pp. 1. [Consulta: 06 marzo 2018]. Disponible en:  
<https://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/2009/12/15/etapas-del-proceso-de-compostaje/>

**Tapia, Antonia.** *¿Qué es el biogás?* [En línea]. VIX. (s.f). [Consulta: 19 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4505/que-es-el-biogas>

**Tortosa, Germán.** *Sistemas de compostaje.* [Blog]. Compostando Ciencia Lab. 2015. [Consulta 05 abril 2018]. Obtenido de:  
<http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>

**UAB.** *Compostaje doméstico y compostaje industrial.* [En línea]. Investigación y Ciencia. Barcelona-España, 2010, pp.1 [Consulta 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/compostaje-domstico-y-compostaje-industrial-9578>

**Valderrama Ramírez, Alejandra.** *Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo.* [En línea] (tesis). (Maestría). Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín-Colombia. 2013. pp. 14-15. [Consulta: 20 enero 2018], Disponible en:  
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1326/Monograf%c3%ada%20Biodegradaci%c3%b3n%20de%20Residuos%20S%c3%b3lidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Valencia Cofre, Washington Santiago.** *Elaboración y caracterización de compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo* (tesis).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 2016. pp. 6-91.

**Valvermont.** *Qué es el biogás, definición, biodigestores y otra información. Medio ambiente y naturaleza.* [En línea.] 2017. [Consulta: 01 marzo 2018]. Disponible en:  
<http://medioambienteynaturaleza.com/que-es-el-biogas-definicion-biodigestores-y-otra-informacion/>

**Zea, José.** *Ceniza volcánica, benéfica para la agricultura de la zona oriente.* [En línea]. 2015. pp.1. [Consulta: 10 junio 2017]. Disponible en:  
<https://reporterosenmovimiento.wordpress.com/2015/02/26/65280/>

## ANEXOS

### Anexo A: Temperaturas en el proceso de compostaje

<b>DÍAS DE COMPOSTA- JE</b>	<b>Temperatura ambiente °C</b>	<b>Temperatura media T1 °C</b>	<b>Temperatura media T2 °C</b>	<b>Temperatura media T3 °C</b>	<b>Temperatura media T4 °C</b>
1	24	45,93	46,27	60,07	48,33
3	22	60,33	59,87	59,27	61,00
4	19	61,33	59,67	60,53	61,73
5	26	61,87	60,80	46,60	61,80
7	27	46,60	46,40	46,53	47,00
16	24	46,53	46,20	46,87	47,07
24	23	47,27	46,80	39,60	46,53
32	24	39,07	40,07	38,60	38,27
40	21	39,87	37,93	39,80	38,47
48	23	38,87	39,47	31,80	38,73
56	24	31,40	30,60	30,40	31,07
64	26	31,27	30,93	29,13	31,27
72	21	29,13	28,33	31,73	28,53
80	22	31,60	31,40	30,53	31,20
88	20	30,60	30,40	28,27	30,40
96	19	27,60	27,73	26,53	28,53
104	19	26,40	26,67	26,53	26,67
112	26	26,53	26,40	21,53	26,07
120	26	21,93	20,93	20,73	21,60
128	19	20,67	20,73	21,27	20,53
136	24	20,93	20,93	20,73	21,07
144	27	20,67	21,27	20,93	21,07
152	27	20,73	20,60	20,93	20,80

Realizado por: Andrés Merino, 2018

**Anexo B: Humedad en el proceso de compostaje**

<b>DÍAS DE COMPOSTAJE</b>	<b>HUMEDAD AMBIENTE %</b>	<b>HUMEDAD MEDIA T1 %</b>	<b>HUMEDAD MEDIA T2 %</b>	<b>HUMEDAD MEDIA T3 %</b>	<b>HUMEDAD MEDIA T4 %</b>
1	42	73,13	73,60	79,73	92,00
3	60	81,80	81,00	76,93	92,00
4	42	79,73	89,60	79,73	93,33
5	52	71,23	74,87	79,47	95,33
7	52	67,43	82,73	84,07	97,33
16	50	70,33	82,07	82,20	80,33
24	57	81,13	89,67	76,33	81,67
32	53	74,27	84,67	55,67	57,67
40	64	68,60	76,67	57,67	59,67
48	42	61,93	80,67	72,33	74,33
56	45	55,60	63,40	55,67	55,33
64	50	53,07	50,20	58,87	54,13
72	58	56,60	58,60	57,67	51,40
80	39	58,47	51,47	48,60	50,27
88	75	59,27	57,40	58,80	61,33
96	56	53,60	51,73	53,33	53,40
104	44	53,53	52,53	55,40	53,27
112	44	52,27	50,00	49,80	51,40
120	66	51,40	51,40	53,40	53,20
128	62	47,33	52,20	54,40	53,60
136	71	50,73	56,73	54,73	51,73
144	41	52,53	54,13	50,73	50,67
152	57	49,13	54,40	54,20	51,20

Realizado por: Andrés Merino, 2018

**Anexo C: pH en el proceso de compostaje**

<b>DÍAS DE COMPOSTAJE</b>	<b>pH medio T1</b>	<b>pH medio T2</b>	<b>pH medio T3</b>	<b>pH medio T4</b>
1	5,73	5,27	5,33	5,73
3	5,67	5,60	5,47	5,47
4	5,47	5,53	5,47	5,47
5	5,53	5,27	5,67	5,53
7	7,93	7,53	8,33	8,07
16	8,20	7,93	8,20	8,07
24	7,47	7,70	7,60	7,73
32	7,80	7,40	7,60	7,67
40	7,73	7,40	7,67	7,93
48	7,67	7,73	7,20	7,60
56	7,47	7,60	7,60	7,47
64	7,40	7,40	7,60	7,60
72	7,60	7,40	7,27	7,67
80	7,40	7,60	7,53	7,53
88	7,47	7,53	7,53	7,53
96	7,47	7,40	7,60	7,47
104	7,67	7,53	7,40	7,27
112	7,40	7,40	7,60	7,40
120	7,27	7,60	7,47	7,53
128	7,47	7,40	7,27	7,40
136	7,47	7,60	7,67	7,40
144	7,53	7,60	7,33	7,47
152	7,33	7,20	7,47	7,40

Realizado por: Andrés Merino, 2018