



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**EMPLEO DE LIXIVIADOS PARA COMPOSTAR LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS DE LA  
CIUDAD DE SUCÚA, MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE  
TAKAKURA Y DE VERMICOMPOSTAJE**

TRABAJO DE TITULACIÓN  
TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
Presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR:** CABRERA LÓPEZ WILSON ARIEL.  
**TUTORA:** DRA. IRENE GAVILANES TERÁN, PhD.

**Macas-Ecuador**

**2018**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “EMPLEO DE LIXIVIADOS PARA COMPOSTAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS DE LA CIUDAD DE SUCÚA, MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE TAKAKURA Y DE VERMICOMPOSTAJE”, de responsabilidad del señor egresado Wilson Ariel Cabrera López, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD.	.....	.....
<b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		
Dr. Julio César Idrovo Novillo.	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		

©2018, Wilson Ariel Cabrera López.

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 del Autor.

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Yo, Wilson Ariel Cabrera López, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos expuestos en el presente trabajo de titulación.

Riobamba, 23 de Marzo de 2018

---

Wilson Ariel Cabrera López  
C.I. 140085069-7

Yo, Wilson Ariel Cabrera López, soy responsable de las ideas, doctrinas y los resultados expuestos en este Proyecto de Titulación y el patrimonio intelectual del Proyecto de Titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

WILSON ARIEL CABRERA LÓPEZ

## **DEDICATORIA**

Al creador, por darme la vida, llenarme de sabiduría y dedicación para consolidar un espíritu luchador.

A mis padres, por su infinito amor y esfuerzo, que me supieron dar en toda una vida de preparación profesional para alcanzar metas importantes.

A mis hermanos y hermanas, que en momentos difíciles me supieron llenar de palabras de apoyo y cariño, que sin duda fueron fundamentales en mi vida estudiantil.

A mis maestros y amigos, quiénes hicieron de este ciclo de vida universitario, uno de las mejores etapas de mi vida, en dónde la Universidad fue mi segundo hogar.

*Ariel*

## AGRADECIMIENTO

Al ser Todopoderoso, que me brinda la oportunidad de conseguir metas soñadas y que siempre ha estado en los momentos más difíciles de mi vida brindándome sabiduría y fortaleza.

A mis padres, Ricardo Cabrera e Hilda López por darme la oportunidad de superarme educativamente, guiándome en todo momento con sabiduría y amor, para que pueda conseguir logros importantes en mi vida.

Mi agradecimiento a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente bajo los altos niveles de enseñanza académica.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa (GAD-S) por permitirme realizar mi proyecto de investigación en las instalaciones de la planta de Lombricultura del cantón.

Al Ing. Edgar Santos, por indicarme todos los procedimientos que se llevan a cabo en el proceso de Vermicompostaje en la planta de Lombricultura del cantón Sucúa.

Al grupo GAIBAQ de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial a la Dra. Irene Gavilanes y Dr. Julio Idrovo, quienes desempeñaron las funciones de Directora y Miembro respectivamente del trabajo de Titulación, brindándome sus sabios conocimientos, asesoramiento íntegro y una sincera amistad.

A mis amigos, Viño, Marco, Juan y Diana, quienes han estado apoyándome durante mi proceso de titulación, para que con esfuerzo y dedicación pueda cumplir una meta soñada para mi vida.

*Ariel*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
INTRODUCCIÓN .....	19
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>26</b>
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	26
1.1. Generación de residuos sólidos a nivel mundial.....	26
1.2. Gestión ambiental mundial .....	27
1.3. Generación de residuos sólidos a nivel Nacional .....	28
1.4. Gestión Ambiental en el Ecuador .....	28
1.5. Gestión de residuos sólidos en Sucúa.....	29
1.6. Residuos Sólidos.....	31
1.6.1. Clasificación de los Residuos Sólidos .....	31
1.6.2. Producción Per Cápita .....	32
1.6.3. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos .....	33
1.7. Compostaje .....	34
1.7.1. Sistemas de Compostaje .....	34
1.7.2. Técnicas de Compostaje .....	38
1.7.3. Parámetros del Proceso de Compostaje .....	44
1.7.4. Condiciones del proceso de compostaje .....	57
1.7.5. Etapas del Proceso de Compostaje .....	57
1.7.6. Microorganismo que intervienen en el compostaje .....	59
1.8. Compost.....	61
1.8.1. Clasificación del compost.....	61
1.8.2. Control Sanitario del Compost .....	62
1.8.3. Calidad del compost.....	63
1.8.4. Utilización del Compost .....	64
1.8.5. Ventajas del compost sobre las propiedades del suelo .....	64



1.9. Marco legal para los residuos sólidos y compost.....	65
1.9.1. Marco Legal para la elaboración de compost .....	66
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>67</b>
2. MARCO METODOLÓGICO .....	67
2.1. Diseño Experimental.....	67
2.1.1. Tipo y diseño de la Investigación .....	67
2.1.2. Unidad de Análisis.....	68
2.1.3. Población de estudio .....	68
2.1.4. Tamaño de la muestra.....	68
2.1.5. Selección de la muestra.....	68
2.1.6. Técnicas de Recolección de datos.....	68
2.2. Metodología.....	69
2.2.1. Localización de la experimentación.....	69
2.2.2. Lugar de muestreo .....	71
2.2.3. Elaboración de compost.....	71
2.2.4. Ensayos para el análisis de la calidad del compost.....	87
2.2.5. Análisis Estadístico.....	113
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>114</b>
3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	114
3.1. Localización de la experimentación.....	114
3.2. Lugar de Muestreo .....	114
3.3. Caracterización inicial físico-química .....	115
3.4. Caracterización inicial Biológica.....	119
3.5. Evolución de la Temperatura a lo largo del proceso de compostaje.....	119
3.6. Cuantificación de Lombrices .....	122
3.7. Evolución de parámetros a lo largo del proceso de compostaje .....	123
3.8. Resumen estadístico de los tratamientos realizados en la investigación.....	128

3.9. Propiedades físicas del compost .....	131
3.10. Relación Carbono- Nitrógeno.....	114
3.11. Concentraciones de micro y macronutrientes en el compost maduro.....	115
3.12. Concentración de metales pesados en el compost maduro .....	116
<b>CONCLUSIONES</b> .....	118
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	119
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	120
<b>ANEXOS</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Eliminación de basura por parroquias .....	11
<b>Tabla 2-1:</b> Gestión de residuos sólidos en el cantón Sucúa .....	12
<b>Tabla 3-1:</b> Clasificación de los residuos sólidos.....	14
<b>Tabla 4-1:</b> Sistemas de Compostajes .....	17
<b>Tabla 5-1:</b> Cambios de coloración del compostaje en base al proceso.....	34
<b>Tabla 6-1:</b> Parámetros de Compostaje .....	39
<b>Tabla 7-1:</b> Biología del compostaje Aerobio .....	41
<b>Tabla 8-1:</b> Composición Físico-química del compost .....	45
<b>Tabla 9-1:</b> Marco legal para el manejo de residuos sólidos .....	48
<b>Tabla 1-2:</b> Cantidad de lixiviado de acuerdo al porcentaje.....	50
<b>Tabla 2-2:</b> Distribución del lixiviado en cada tratamiento.....	50
<b>Tabla 3-2:</b> Ubicación del área de proyecto en coordenadas UTM.....	52
<b>Tabla 4-2:</b> Parámetros analizados a las muestras líquidas.....	59
<b>Tabla 5-2:</b> Parámetros analizados a las muestras sólidas.....	59
<b>Tabla 6-2:</b> Parámetros analizados a la semilla Takakura.....	60
<b>Tabla 7-2:</b> Fechas de muestreo del proceso de compostaje.....	68
<b>Tabla 8-2:</b> Parámetros analizados en la caracterización inicial.....	70
<b>Tabla 9-2:</b> Análisis del CIC en el compost maduro.....	71
<b>Tabla 10-2:</b> Contenido de metales pesados en el compost maduro.....	71
<b>Tabla 11-2:</b> Contenido de micro y macro nutrientes el compost maduro.....	71
<b>Tabla 12-2:</b> Contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en el compost maduro.....	72
<b>Tabla 13-2:</b> Caracterización inicial microbiológica de la semilla Takakura.....	72
<b>Tabla 14-2:</b> Parámetros analizados en laboratorios de la ESPOCH.....	72
<b>Tabla 1-3:</b> Caracterización físico-química.....	98
<b>Tabla 2-3:</b> Caracterización Química de los materiales iniciales.....	100
<b>Tabla 3-3:</b> Caracterización microbiológica de la Semilla Takakura.....	102
<b>Tabla 4-3:</b> Evolución de la cantidad de Lombrices a lo largo del proceso.....	105
<b>Tabla 5-3:</b> Evolución del proceso de compostaje- Método Takakura.....	106
<b>Tabla 6-3:</b> Evolución del proceso de compostaje-Método Vermicompost.....	108
<b>Tabla 7-3:</b> Características físico-químicas y químicas de los tratamientos experimentales.....	111
<b>Tabla 8-3:</b> Características físicas del compost.....	114
<b>Tabla 9-3:</b> Relación Carbono- Nitrógeno de materiales iniciales y productos finales.....	114
<b>Tabla 10-3:</b> Contenido de micro y macronutrientes.....	115
<b>Tabla 11-3:</b> Metales pesados realizados al compost maduro.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Flujo de aire por una pila con volteo .....	36
<b>Figura 2-1:</b> Sistema de pilas estáticas aireadas.....	36
<b>Figura 3-1:</b> Máquina volteadora en trincheras.....	37
<b>Figura 4-1:</b> Sistemas de tubos giratorios. ....	38
<b>Figura 5-1:</b> Porcentaje de Oxígeno en una pila de compost. ....	45

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje por el método Takakura.....	120
<b>Gráfico 2-3:</b> Evolución de la Temperatura a lo largo del proceso de compostaje por el método Vermicompostaje. ....	121

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO A</b>	Elaboración de la semilla Takakura.
<b>ANEXO B</b>	Preparación del lugar para el desarrollo del proceso de compostaje.
<b>ANEXO C</b>	Preparación del material estructurante.
<b>ANEXO D</b>	Desarrollo del proceso de compostaje.
<b>ANEXO E</b>	Análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

## ABREVIATURAS

AME	Asociación de Municipalidades Ecuatorianas
C	Contracción de Volumen
c.a	Columna de agua
C.C	Cabecera Cantonal
C.P	Cabecera Parroquial
CA	Capacidad de Aireación
Cd	Cadmio
CENTROCESAL	Centro de Soluciones Analíticas Integrales
CRA	Capacidad de retención de agua
Cu	Cobre
DA	Densidad aparente
DAC	Densidad aparente compactada
DBCA	Diseño de bloques completamente al Azar
DR	Densidad Real
EPA	United States Environmental Protection Agency
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ETP	Espacio poroso total
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GAD-S	Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa
GIRs	Gestión Integral de Residuos Sólidos
GPS	Global Positioning System
Hg	Mercurio
JICA	Agencia Japonesa de Cooperación Internacional
kg/día	Kilogramo día
kg/Hab*día	Kilogramo habitante día
kg/m <sup>3</sup>	Kilogramo sobre metro cúbico
L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub> , L <sub>4</sub>	Lixiviados
m.s.n.m	metros sobre el nivel del mar
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
meq/100	miliequivalente sobre 100 g
MO	Materia orgánica
mS/cm	milisiemens sobre centímetro
pH	Potencial Hidrógeno

PPC	Producción Percápita
ppm	parte por millón
RSU	Residuos sólidos urbanos
Se	Selenio
SNIM	Sistema Nacional de información Municipal
TKB	Takakura “blanco”
TKL1	Takakura más lixiviado uno
TKL2	Takakura más lixiviado dos
TKL3	Takakura más lixiviado tres
TKL4	Takakura más lixiviado cuatro
tn/día	Tonelada sobre día
tn/ha	Tonelada sobre hectárea
UFC/g	Unidades Formadores de Colonias sobre gramo
USFQ	Universidad San Francisco de Quito
VCB	Vermicompostaje “blanco”
VCL1	Vermicompostaje más lixiviado uno
VCL2	Vermicompostaje más lixiviado dos
VCL3	Vermicompostaje más lixiviado tres
VCL4	Vermicompostaje más lixiviado cuatro



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b> Cálculo para la producción per cápita .....	15
<b>Ecuación 2-2:</b> Fórmula para calcular la materia orgánica.....	77
<b>Ecuación 3-2:</b> Fórmula para cálculo de cloruros .....	78
<b>Ecuación 4-2:</b> Fórmula para el cálculo de nitratos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.80</b>
<b>Ecuación 5-2:</b> Fórmula para el cálculo de Fosfatos .....	81
<b>Ecuación 6-2:</b> Fórmula para el cálculo de Sulfatos.....	83
<b>Ecuación 7-2:</b> Fórmula para el cálculo de la densidad aparente .....	87
<b>Ecuación 8-2:</b> Fórmula para el cálculo de la humedad del sustrato.....	88
<b>Ecuación 9-2:</b> Fórmula para el cálculo de la densidad aparente compactada.....	89 <b>¡Error!</b>

### **Marcador no definido.**

**Ecuación 10-2:** Fórmula para el cálculo del espacio poroso total..... **¡Error! Marcador no definido.90**

**Ecuación 11-2:** Fórmula para el cálculo de la densidad real..... 91

**Ecuación 12-2:** Fórmula para el cálculo de la capacidad de retención de agua.....**¡Error! Marcador no definido.92**

**Ecuación 13-2:** Fórmula para el cálculo de la capacidad de aireación . **¡Error! Marcador no definido.93**

**Ecuación 14-2:** Fórmula para el cálculo de contracción de volumen 94**¡Error! Marcador no definido.**

**Ecuación 15-2:** Fórmula para el cálculo de volumen de anilla .....

**¡Error! Marcador no definido.95**

## RESUMEN

El objetivo principal fue emplear lixiviados para compostar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Sucúa, mediante las Técnicas de Takakura y Vermicompostaje para su posible utilización en la agricultura. Para esta investigación, se armaron diez camas, todas contenían 100 kg de residuos orgánicos. Los tratamientos correspondientes al método Takakura, estaban constituidos por: aserrín (11.06 kg) y semilla Takakura (20 kg), mientras que los tratamientos del vermicompostaje sólo contenían residuos orgánicos. Los lixiviados utilizados fueron recogidos del drenaje de la planta de lombricultura. La elaboración del compost se lo realizó en estructuras de trincheras, durante el proceso se realizó un control diario de temperatura, pH y humedad, además después de cada volteo se tomó una muestra representativa de cada tratamiento para realizar análisis de la evolución del proceso de compostaje. La evolución de las temperaturas de las camas fue adecuada, al inicio se presentó la fase mesófila, para seguidamente dar inicio a la fase termófila alcanzando temperaturas mayores a 55 °C, mismas que fueron controladas con volteos manuales. Una vez finalizado el proceso se verificó la calidad del abono mediante análisis físicos-químicos, químicos y biológicos, mismos que se encontraron dentro de los rangos establecidos por normativas como la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y de la Comisión Europea. De acuerdo al análisis estadístico, el mejor tratamiento fue el TKL3, presentando un porcentaje de Índice Germinación de 71% indicativo de ausencia de fitotoxicidad, la relación C/N equivalente a 14.3 y conductividad eléctrica de 2.35 mS/cm lo cual demostró la calidad del producto final. El vermicompostaje permitió obtener una elevada concentración de biomasa. Se recomienda emplear el método Takakura con una adición de lixiviado de 375 ml para un óptimo tratamiento de residuos orgánicos.

**Palabras clave:** <BIOTENOLOGÍA>, <COMPOSTAJE>, <RESIDUOS SÓLIDOS>  
<TAKAKURA (TÉCNICA) > <VERMICOMPOSTAJE (TÉCNICA)> <LIXIVIADOS>  
<COMPOST> <BIOMASA>

## **ABSTRACT**

The main objective was to find leachates to check the organic solid residues of the city of Sucúa, using the techniques of Takakura and Vermicomposting for its possible use in agriculture. For this investigation ten beds were assembled, all containing 100 kg of organic waste. The treatments corresponding to the Takakura method consisted of: sawdust (11.06 kg) and Takakura seed (20 kg), while the Vermicomposting treatments only contained organic residues. The leachates used were collected from the drainage of the Vermiculture plant. The elaboration of the compost was carried out in trench structures, during the process a daily temperature, pH and humidity control was carried out, besides, after each flip, a representative sample of each treatment was taken to analyze the evolution of the composting process. The evolution of the temperatures of the beds was adequate, at the beginning the mesophilic phase was presented, to then start the thermophilic phase reaching temperatures higher than 55 ° C, which were controlled with manual turning. Once the process was completed, the quality of the fertilizer was verified by the physical-chemical, chemical and chemical analysis, as well as biological, which were found within the ranges established by regulations such as the Environmental Protection Agency (EPA) and the European Commission. According to the statistical analysis, the best treatment was TKL3, presenting a percentage of germination index of 71% indicative of absence of phytotoxicity, the C / N ratio equivalent to 14.3 and electrical conductivity of 2.35 mS / cm which demonstrated the quality of the final product. Vermicomposting and obtain a concentration of biomass. It is recommended to use the Takakura method with a 375 ml leachate addition for a correct treatment of organic waste.

Key words: <BIOTECHNOLOGY>, <COMPOSTING>, <SOLID WASTE>, <TAKAKURA (TECHNIQUE)>, <VERMICOMPOSTING (TECHNIQUE)>, <LEACHATE>, <COMPOST>, <BIOMASS>.

## **INTRODUCCIÓN**

### **Situación problemática**

Sucúa es un cantón de la provincia de Morona Santiago. Su cabecera cantonal es la ciudad de Sucúa, con una población de 18.318 habitantes según el censo realizado por el INEC 2010 (INEC, 2010, pp.1-4).

En los últimos años se ha registrado un acrecentamiento poblacional cuya tasa de crecimiento es 2.7%, lo cual ha ocasionado incremento demográfico y comercial, originando sobreproducción de residuos orgánicos generados en los domicilios y distintos puntos de venta y comercialización de alimentos como mercados, ferias, parques y jardines (INEC, 2010, pp.1-4).

El departamento de Saneamiento Ambiental del GAD-S se encarga del tratamiento y disposición final de los desechos originados por la población. Los residuos sólidos que se generan en Sucúa son de dos clases: orgánicos (cáscaras de tubérculos, frutas, huevos, restos de vegetales, etc.) e inorgánicos (procedentes de procesos industrializados y de construcción como plásticos, cauchos, escombros, etc.), los cuáles son recogidos y transportados hacia el relleno sanitario de la ciudad por los vehículos recolectores en días diferentes: Lunes, Miércoles y Viernes para los desechos orgánicos; martes, jueves y sábado para los desechos inorgánicos (GAD-S, 2017).

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa, semanalmente se generan 35,43 toneladas de desechos entre orgánicos e inorgánicos (GAD-S, 2017).

Actualmente, en el área de compostaje, la técnica de manejo utilizada en el aprovechamiento de los residuos orgánicos es través de Vermicompostaje, la misma que presenta ciertas ventajas como: baja inversión económica, corta cantidad de trabajadores además de ofrecer humus producto del tratamiento de los desechos orgánicos (GAD-S, 2017).

Sin embargo, la técnica Lombricultura o Vermicompostaje no acapara el volumen total de biomasa generada por la ciudadanía, ya que para obtener bioabono se requiere de 120 días, resultando ser un tiempo excesivo, dificultando el tratamiento de las próximas 9 toneladas que semanalmente siguen ingresando y almacenándose en el área de compostaje (GAD-S, 2017).

Debido al tiempo empleado en la elaboración de abono orgánico se evidencia ineficiencia en el proceso, lo cual genera presencia de vectores tales como moscas, roedores, carroñeros, etc., y a todo esto se suman malos olores que causan molestias a la población aledaña al área de compostaje perteneciente al relleno sanitario (GAD-S, 2017).

Por tal razón, frente a los problemas mencionados se desea buscar alternativas eficaces y eficientes que mejoren el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos promoviendo beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno.

### **Formulación del problema**

Ante el crecimiento demográfico y comercial de las ciudades, hoy en día se han implementado estrategias innovadoras en la mayoría de municipios del país para el tratamiento de residuos orgánicos, debido a que cada año su generación es mayor (INEC, 2010).

Para ello, el cantón Sucúa, es una de esas Municipalidades que aprovechan los residuos orgánicos generados por su población y las transforman en un producto final llamado Humus, mismo que es un abono orgánico rico en nutrientes para el suelo y las plantas (GAD-S, 2017).

El tratamiento realizado en Sucúa mediante la técnica de Vermicompostaje, requiere de un tiempo mínimo de 120 días de proceso, tiempo que resulta ser muy extenso, esto se debe a que el sistema de tratamiento mediante Lombricompost carece de eficiencia, lo cual provoca que el material orgánico recolectado semanalmente se siga acumulando sobre la plataforma del área de compostaje (GAD-S, 2017).

Frente a esta aglomeración de residuos, se da lugar a la presencia de malos olores y contaminación visual ambiental (GAD-S, 2017).

Por lo tanto es necesario, buscar nuevas alternativas de compostaje, que brinden un eficiente tratamiento de residuos sólidos orgánicos, contribuyendo a la minimización de malos olores, buen aspecto de la planta y erradicación de animales como: moscas, roedores y carroñeros.

## **ANTECEDENTES**

El Cantón Sucúa se encuentra al Sudeste de la Región Oriental, en la Provincia de Morona Santiago, ubicado entre los 02° 08' 35'' a los 02° 54' 45'' de latitud Sur y de los 77° 25' 45'' a los 77° 58' 20'' de longitud Oeste, a una altitud de 833,92 m.s.n.m. Su cabecera cantonal es la ciudad de Sucúa, tiene una población de 18.318 habitantes según el censo realizado por el INEC 2010. Sucúa tiene un clima cálido-húmedo con una temperatura promedio anual de 21,8 °C (GAD-S, 2017).

Sus habitantes se dedican a la agricultura y ganadería mayoritariamente. El suelo es apto para el sembrío y cultivo de productos tales como yuca, plátano, papachina, naranja, guayusa, tomatillo, caña de azúcar, etc., esto conlleva a que la ciudad comercialice sus productos con diferentes provincias del país (GAD-S, 2017).

En los últimos años, se ha registrado un incremento poblacional cuya tasa de crecimiento es de 2.7%, lo cual ha originado desarrollo demográfico y comercial. Este incremento comercial y poblacional ha originado aumento en la generación de residuos lo que impulsa a que el GAD-S emplee las mejores alternativas de gestión integral de residuos sólidos. El cantón de Sucúa tiene implementado el plan de separación de los desechos, es así que los residuos son separados en orgánicos e inorgánicos, los cuales son llevados al Relleno Sanitario del Cantón ubicado en el sector Huambinimi (residuos sólidos inorgánicos) y Huambi (residuos sólidos orgánicos) en donde son procesados (GAD-S, 2017).

La recolección de desechos ya separados se realizan tanto en áreas urbanas y rurales del cantón, con un porcentaje de cobertura de recolección de desechos sólidos de un 94% en todo el cantón, sin embargo la basura orgánica en algunas comunidades rurales de manera general es desechada a terrenos baldíos, es quemada, enterrada y algunos casos arrojada a quebradas y ríos (GAD-S, 2017).

El tratamiento para los residuos orgánicos utilizado por el GAD-S es mediante Vermicompostaje, cuyo abono resultante se obtiene a partir de 120 días lo cual constituye ser excesivo tiempo, ya que los residuos orgánicos que siguen llegando no pueden ser procesados prontamente, esto a su vez genera presencia de vectores, y molestias como malos olores a personas aledañas al relleno, a todo esto se suma que el proceso de tratamiento vigente carece de un control de parámetros indispensables en la formación del compost tales como pH, temperatura y humedad (GAD-S, 2017).

Frente a estos problemas suscitados, es importante realizar la presente investigación para optimizar el proceso de compostaje con las técnicas planteadas anteriormente, para reducir el tiempo de elaboración y obtención de abono, mismo que será controlado en lo que respecta a parámetros de pH, temperatura, humedad durante su formación (GAD-S, 2017, p.1).

Es importante mencionar que el desarrollo de la gestión integral de residuos sólidos es indispensable para cualquier municipalidad del mundo pero bajo leyes y reglamentos vigentes y confiables, además en nuestro país la gestión de residuos sólidos es inadecuada. (GAD-S, 2017, p.1).

La gestión de residuos sólidos en países Europeos resulta ser muy complicada, debido a que todas las personas no precisamente ponen en primer orden la situación ambiental, frente a estos inconvenientes, la comisión Europea se rige en ciertos principios que ayudan a la preservación y protección del medio ambiente, poniendo como estrategias eficaces la incineración de residuos sólidos (Comisión Europea, 2000, pp.10-14).

El manejo de los residuos sólidos de cada cantón, se encuentra bajo responsabilidad de los GAD MUNICIPALES, mismos que disponen de la facultad de contratar los servicios de tratamiento de residuos sólidos a entidades afines al tema, el objetivo del manejo de residuos sólidos está orientado su minimización (TULSMA, 2015, p.436).

La ordenanza que regula la GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN EL CANTÓN SUCÚA, vigente desde el 8 de Noviembre del 2013, manifiesta que “La disposición final de los desechos se la realizará en el relleno sanitario. Se adoptarán alternativas de tratamiento para los desechos como es la producción de compost, abono orgánico bocashi, humus de lombriz y otros métodos que los funcionarios y técnicos de la Dirección de Gestión Ambiental y Desarrollo Productivo determinen según el tipo de residuo” (GAD-S, 2009, pp.1-14).

Similares estudios se han realizado en diferentes universidades del país, a continuación se mencionarán brevemente alguna de ellas.

(Tenecela, 2012), demostró en su trabajo de titulación la manera de cómo elaborar humus mediante el empleo de lombrices californianas a través del aprovechamiento de residuos orgánicos, mencionado el aporte nutricional, económico y científico a nivel local y nacional.

(Campos, 2011), estudió en su trabajo de titulación que al evaluar el efecto de cuatro abonos (Vermicompostaje, Bocashi, Humus y Casting), frente a un tratamiento patrón (sin abono orgánico), tuvo efectos significativos al ser aplicados en la producción primaria forrajera de la *Brachiaria brizantha*, con lo cual se obtuvo diferencias significativas entre ellos, concluyendo que los mejores resultados en cuanto a crecimiento de la primaria forrajera de la *Brachiaria brizantha* fue para el Vermicompostaje.

(Gautama, 2013), evaluó en su trabajo de titulación que, al emplear lixiviados provenientes de los residuos orgánicos para elaborar biol, contribuye al mejoramiento de las propiedades del suelo, evitando el uso de productos químicos como los fertilizantes que pueden llegar a producir efectos tóxicos al suelo a largo plazo.

(Andrade, 2008), demostró en su trabajo de titulación que, entre las técnicas de Vermicompostaje y Compostaje, la más idónea para aplicarla con fines agrícolas resulta ser la de Lombricultura, debido al aporte nutricional que ésta pueda otorgar al suelo y a las plantas, además concluye que para realizar Lombricultura primero se debe realizar un proceso de pre compostaje.

(Cajamarca, 2012), estudió en su trabajo de titulación que, la utilización de abonos orgánicos contribuye al cuidado y preservación de los suelos, ya que actualmente en la mayoría de sembríos y cultivos se da el empleo de fertilizantes químicos, que a largo plazo produce erosión del suelo, afectando a la vida vegetal como a la vida humana.

(Jiménez, 2015), evaluó en su trabajo de titulación que, el objetivo fundamental de su investigación fue realizar compost a partir de los residuos orgánicos generados en el Mercado Mayorista de Riobamba, cabe mencionar que el producto final realizado tenía fines agrícolas.

Sin embargo, aún son pocos los estudios realizados en temas de manejo y tratamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante compostaje, por lo que es necesario realizar la presente investigación.



## **JUSTIFICACIÓN**

Los residuos sólidos domiciliarios se constituyen en uno de los problemas ambientales más importantes de la sociedad actual, debido a que en los últimos años producto del crecimiento poblacional y consumista se ha incrementado la generación de desechos.

La gestión ambiental de los residuos sólidos tiene que ser una de las prioridades de los GAD-S y estar orientados a la búsqueda de estrategias eficientes que contribuyan al manejo adecuado, potenciando los productos finales de éstos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales basándose en ordenanzas municipales y Constitución Política del Ecuador.

Según el artículo 29 de la ordenanza que regula la GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN EL CANTÓN SUCÚA vigente desde el 8 de Noviembre de 2013, manifiesta que “La disposición final de los desechos se la realizará en el relleno sanitario. Se adoptarán alternativas de tratamiento para los desechos como es la producción de compost, abono orgánico bocashi, humus de lombriz y otros métodos que los funcionarios y técnicos de la Dirección de Gestión Ambiental y Desarrollo Productivo determinen según el tipo de residuo.”

Haciendo énfasis en los problemas mencionados y en lo dispuesto en ordenanzas y leyes vigentes, es importante realizar este proyecto, porque se pretende determinar con cuál de las dos técnicas planteadas, Vermicompostaje y Takakura, se puede optimizar el tiempo de compostaje frente a la técnica actual. Además, el lixiviado producto del tratamiento vigente realizado en el área de compostaje no se lo está aprovechando, por lo que se van a incorporar volúmenes establecidos de lixiviado a los residuos orgánicos para lograr minimizar el tiempo de obtención de abono orgánico en el relleno sanitario del cantón Sucúa.

Se han seleccionado estas técnicas debido a que su metodología es diferente pero con principios de compostaje común, aunque en el caso de la técnica Takakura resulta ser un método innovador de aprovechamiento de residuos orgánicos en la elaboración de abono.

Al optimizar el tiempo de compostaje se estaría aumentando la eficiencia del proceso de tratamiento evitando sobreacumulación de desechos orgánicos en el área de compostaje, y a la vez impidiendo la presencia de vectores y malos olores que causan molestias en la población vecina al lugar de compostaje.

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Emplear lixiviados para compostar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Sucúa mediante las técnicas de Takakura y de Vermicompostaje.

### **Específicos**

- Establecer volúmenes apropiados de lixiviado para ser inyectados en 100 kg de residuos sólidos orgánicos en la ejecución de la técnicas de compostaje.
- Estimar las cantidades adecuadas de los ingredientes necesarios para la elaboración de la semilla Takakura que permitan el correcto desarrollo de la técnica de compostaje con 100 kg de residuos orgánicos.
- Realizar un control de proceso a través de pruebas de laboratorio.
- Determinar la calidad del compost y Vermicompostaje a través de pruebas físico-químicas, químicas y biológicas para recuperación de suelos.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Generación de residuos sólidos a nivel mundial

A lo largo de las últimas cinco décadas, el crecimiento demográfico ha sido muy significativo con respecto a tiempos anteriores, esto ha originado preocupación mundial principalmente a las grandes ciudades, donde se han llevado a cabo una serie de retos, que contribuyan a dar solución a efectos preocupantes tales como: la generación de residuos diarios (Abengoa, 2013, p.2).

La generación actual de residuos sólidos urbanos (RSU) oscila alrededor de 1.300 millones de toneladas recolectadas anualmente, y se espera que para el año 2025, esta cifra alcance los 2.200 millones de toneladas (Abengoa, 2013, p.2).

La mayoría de ciudades han destinado recursos económicos, para la implementación de estrategias innovadoras sobre el manejo, control y reducción de residuos sólidos, tales como: concienciación de las personas en hábitos de consumo y reciclaje, tratamiento adecuado de residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final, mediante las múltiples técnicas existentes, y la recirculación de las poblaciones desde las grandes zonas urbanas hacia los sectores rurales y áreas circundantes (Abengoa, 2013, p.3).

La generación de residuos sólidos, es el resultado directo de cualquier actividad emprendida por el hombre; hoy en día, nuestro mundo está constituido por una población consumista, que genera una amplia cantidad de residuos, mismos que provienen de un extenso abanico de actividades. Los porcentajes de producción de desechos sólidos obedecen a una gama de parámetros, entre ellos los más principales tenemos: tamaño de la población, nivel socioeconómico y época del año (Ambientum, 2013, p. 1).

Según el Plan Nacional de Residuos Urbanos, en el período 2000-2006, se estimó que la generación promedio de desechos sólidos urbanos para España fue alrededor de 1.2 kg/día; los países situados al norte de Europa alcanzaron valores de 1.5-2.5 kg/día, en América del Norte la generación aproximada fue de 2 kg/día y finalmente, en América del Sur los valores oscilaron entre 0.4 y 0.8 kg/día (Ambientum, 2013, p. 1).

## **1.2. Gestión ambiental mundial**

El siglo XXI, está caracterizado por actos de preocupación y concienciación de la población sobre la realidad ambiental actual y los posibles perjuicios que resultan de las actividades humanas. En lo que respecta a la generación de residuos, la preocupación se ha focalizado en los desenlaces que provoca la inadecuada gestión que se hace de ellos, desenlaces que se observan generalmente en la salud pública y la contaminación del suelo, agua y aire (Velásquez, 2006, p.2).

En los países globalizados, las diversas alternativas vigentes que se encuentran enfocadas en la gestión integral de residuos, emplean estrategias técnicas y programas capacitados en obtener el mayor beneficio de los recursos, guiándose en el hecho de que la composición de los residuos está constituidos por elementos diferentes, mismos que son manejados y dispuestos de manera separada (Velásquez, 2006, p.2).

La gestión emprendida por países primer mundistas, está encaminada a la indagación de medidas eficaces que contribuyan a la conservación del medio y a la responsabilidad del generador de los residuos, resaltando acciones que tienen como objetivos primordiales el decrecimiento progresivo del volumen de residuos generados, al igual que la valorización de la materia orgánica contenida en los residuos urbanos a través de la producción de compost y/o a través de técnicas como la incineración con recuperación de energía (Velásquez, 2006, p.2).

La vía de gestión que cada país lleva a cabo está íntimamente relacionada a su propio nivel económico, quedando los objetivos primordiales, muchas de las veces, lejos de la meta trazada. Hace varios años atrás, la disposición final de los residuos se los hacía en los vertederos clandestinos y vertederos incontrolados, así como también la aglomeración de residuos sólidos para ser incinerados bajo ningún tipo de control higiénico ni procedimiento técnico legal. Actualmente, en estados como México, aún se pueden observar residuos sólidos domiciliarios e industriales a lo largo de las carreteras o riveras de los ríos. En países como Alemania, Bulgaria, Unión Soviética, aún existen problemas graves de limpieza de antiguos vertederos, en los cuáles durante algunas décadas fue sepultado todo tipo de desechos sólidos entre ellos, residuos domiciliarios, hospitalarios y restos de armamentos utilizados en los combates de guerra. La

limpieza de estos lugares está ocasionando dificultades ambientales y económicas (Comisión Europea, 2000, p.7).

### **1.3. Generación de residuos sólidos a nivel Nacional**

De acuerdo a los datos del INEC, los ecuatorianos generan un valor promedio de 0.57 kg de residuos en el casco urbano, mientras que en la Región Insular esta cifra bordea los 0.72 kilogramos. Este estudio fue realizado conjuntamente con el apoyo de la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME), y se lo aplicó a los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) del Ecuador, en el período Octubre 2014- Junio 2015 (INEC, 2014, p.12).

Se define a un residuo sólido como cualquier objeto, sustancia sólida o material que carece de características de peligrosidad, producto del consumo o utilización de un bien, en actividades tales como: domésticas, comerciales, industriales, institucionales o de más servicios. De acuerdo a la presente investigación, en el país se contabilizaron 11203.24 toneladas diarias de desechos sólidos, colocando a la región Litoral, como aquella en donde se dio la mayor recolección de residuos sólidos, en una cantidad de 6229.92 toneladas diarias (INEC, 2014, p.14).

### **1.4. Gestión Ambiental en el Ecuador**

Desde el año 2010, el INEC ha realizado estudios acerca de la Información Ambiental Económica de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de los cuáles se han recopilado datos de significativa importancia que permitan la elaboración de indicadores en temáticas de tratamiento y manejo de residuos sólidos, uso adecuado del recurso agua, manejo y tratamiento eficiente de aguas residuales y por último gastos e inversión en gestión ambiental. Simultáneamente, desde el año 2010, la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME) con la finalidad de normar la información recopilada y llevar una eficiente planificación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRs), propuso indicadores de servicio, mismos que fueron admitidos y validados por el Comité Interinstitucional conformado por los Ministerios de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ambiente y Salud, Banco del Estado y la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (INEC, 2014, p.4).

En el año 2011, AME habilitó el Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM), mismo que se encarga del registro y actualización anual de la información que corresponde a: Gestión de

Agua Potable y Alcantarillado y Gestión Integral de Residuos Sólidos, dicha información proviene de los reportes emitidos por los diferentes Municipios del país (INEC, 2014, p.4).

En el país existen 221 municipios de acuerdo a la información brindada por el INEC, de los 221, sólo 183 GADs realizan la gestión de sus residuos mediante departamentos municipales del GAD, 22 GADs lo hacen a partir de Empresas Públicas Mancomunadas, 10 GADs mediante los servicios de Empresas Públicas y 5 GADs a través de Mancomunidad (INEC, 2014, p.7).

En lo que respecta al servicio de Barrido, a nivel nacional, 205 municipios han establecido las distancias longitudinales de sus calles susceptibles a ser barridas en 8542.48 Km, de éstas solo 7260.8 Km cuentan con el servicio de recolección de residuos sólidos que equivale al 85% de cobertura (INEC, 2014, p.8).

Actualmente, en el país, 85 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales disponen sus desechos sólidos en Rellenos Sanitarios, 57 Municipalidades lo hacen en Botaderos controlados, 52 Municipalidades en Botaderos a Cielo Abierto y finalmente 26 Municipalidades depositan sus residuos en Celdas emergentes (INEC, 2014, p.17).

### **1.5. Gestión de residuos sólidos en Sucúa**

En el cantón Sucúa, se ha implementado un plan de separación en la fuente donde se generan los residuos sólidos, es así que se separan en residuos orgánicos y residuos inorgánicos, mismos que son trasladados hacia el Relleno Sanitario ubicado en el sector Huambinimi y hacia la planta de Lombricultura ubicada en la parroquia Huambi respectivamente, en donde se da el procesamiento respectivo para cada tipo de residuo (GAD-S, 2014, p.67)

Alrededor del 64% de la población Sucuense, cuentan con el servicio de recolección de residuos sólidos, el 18% dispone sus residuos sólidos en campos abiertos, lo cual contribuye a la contaminación ambiental, finalmente el 18% de la población queman o entierran la basura (GAD-S, 2014, p.67)

A continuación se establece tablas de información en cuánto a la eliminación y gestión de residuos sólidos del cantón Sucúa (casco urbano) y sus parroquias (zona rural).

**Tabla 1-1.** Eliminación de basura por parroquias

<b>Eliminación de Basura</b>	<b>Sucúa</b>	<b>Huambi</b>	<b>Marianita</b>	<b>Asunción</b>
------------------------------	--------------	---------------	------------------	-----------------

Por carro recolector	70,93%	56,56%	63,47%	18,37%
La arrojan en terreno baldío quebrada	13,01%	23,68%	12,33%	54,07%
La queman	13,18%	17,04%	20,09%	13,12%
La entierran	1,41%	0,75%	3,20%	1,05%
La arrojan al río, acequia o canal.	0,51%	1,36%	0,46%	5,25%
De otra forma	0,96%	0,60%	0,46%	8,14%

Fuente: Plan de Manejo Ambiental GAD-Sucúa, 2014, p.68

La siguiente tabla (2-1), fue tomada del plan de ordenamiento territorial realizada por la municipalidad, aquí se describe rápidamente el manejo que el GAD realiza con los residuos sólidos generados.

**Tabla 2-1.** Gestión de residuos sólidos en el cantón Sucúa

ITEM	DESCRIPCIÓN
<b>Ordenanzas</b>	Codificación de la ordenanza que regula la gestión integral de desechos orgánicos e inorgánicos en el cantón Sucúa (Registro oficial Número 161 con fecha de publicación 14 de Enero 2014).
<b>Aspecto Legal</b>	El relleno sanitario cuenta con permiso de funcionamiento y operación.
<b>Proceso de Recolección</b>	Se realiza un proceso de recolección diferenciada; lunes, miércoles y viernes (Residuos orgánicos); Martes, jueves y sábado (residuos inorgánicos).
<b>Generación de residuos sólidos (cabecera cantonal)</b>	3,81 ton/día (en promedio), este valor corresponde al total de residuos Orgánicos e Inorgánicos.
<b>Generación de residuos sólidos (cabeceras parroquiales)</b>	0,5 ton/día, este valor corresponde a residuos sólidos de las cabeceras Parroquiales: Asunción, Huambi y Santa Marianita de Jesús.
<b>Total de residuos sólidos generados (cabecera cantonal y parroquiales-CC y CP)</b>	4,31 tn/día.
<b>Disposición Final</b>	Relleno Sanitario, funciona desde el año 2004, es uno de los primeros de la Provincia; el área general del Proyecto Huambinimi es de aproximadamente 13 ha.; se cuenta actualmente con dos celdas de disposición final de residuos inorgánicos. Se dispone de una mini cargadora Bobcat y se requiere la repotenciación de otra mini cargadora de orugas que tiene averiado el tren de rodaje; para la conformación final de la celda se cuenta con maquinaria pesada de la municipalidad
<b>Residuos Orgánicos</b>	Se trata el 100% del material orgánico con Lombricultura y el humus producido se lo utiliza como abono en jardines y parterres de la ciudad, en los programas de apoyo al agricultor que mantiene la municipalidad y se comercializa a las personas que lo requieren en sacos de 55 kg.
<b>Centros de acopio</b>	-Mercado Municipal 1° de Mayo - Comunidad Santa Rosa - Comunidad Yukutais

	- Tesoro
<b>Reciclaje de Materiales</b>	Existe.
<b>Manejo de Residuos Hospitalarios</b>	No se cuenta con una celda para la disposición final de estos residuos peligrosos
<b>Barrido de Vías y Áreas Públicas</b>	Se efectúa en forma manual (Se cuenta con un equipo de barrenderos que recorre el área comercial de la ciudad con carritos recolectores pequeños), y mecánica, con una barredora mecánica acoplada a la mini cargadora Bobcat, con la que se barre las calles adoquinadas y pavimentadas de la ciudad en forma periódica.
<b>Trasporte y recolección</b>	La recolección se la realiza con 2 carros recolectores compactadores que requieren de dos personas para el acarreo; Se mantiene un convenio de cooperación con el Distrito de Salud 14D03 Sucúa-Logroño, quienes nos han dotado de un vehículo para la recolección en comunidades.
<b>Buenas Prácticas</b>	Lombricultura, producción de plantas, mantenemos un vivero de plantas Ornamentales.
<b>Inversiones complementarias requeridas</b>	Adquisición de un nuevo terreno para la disposición final de los residuos sólidos Terminación de una celda que está en un 40%. Adquisición de un nuevo vehículo para la recolección de los residuos para las comunidades Construcción de un galpón para la separación de latas, plástico y cartón. Construcción de una celda para la disposición final de residuos hospitalarios.

Fuente: Plan de Manejo Ambiental GAD-Sucúa, p. 69

## 1.6. Residuos Sólidos

Residuo sólido es todo objeto, sustancia o material sólido que se genera como consecuencia de la utilización o consumo de un bien en diferentes actividades domésticas, comerciales o industriales, mismo que mediante técnicas estratégicas puede ser aprovechado para convertirlo en un producto con valor económico o de disposición final (Hena, 2008, p. 25).

### *1.6.1. Clasificación de los Residuos Sólidos*

Los residuos sólidos se pueden clasificar de distintas maneras ya sea por su: estado, fuente, composición química y grado de peligrosidad (Jiménez, 2015, p.5).

A continuación, en la tabla (3-1), se establece la clasificación de los residuos sólidos.



**Tabla 3-1.** Clasificación de los residuos sólidos

Por su Estado	Fuente	Composición Química	Grado de Peligrosidad
De acuerdo al estado físico que presente puede ser: -Sólido -Líquido -Gaseoso	De acuerdo al tipo de actividades: <b>-Domésticos.-</b> residuos generados en casas y edificios familiares.  <b>Industriales.-</b> Residuos de manufacturas y producción de bienes.  <b>-Comerciales.-</b> Residuos de tiendas, restaurantes, hoteles y demás casas de venta.  <b>-Institucionales</b> Residuos generados en escuelas, universidades, hospitales, centros gubernamentales etc.  <b>-Agrícolas</b> Residuos generados a partir de las cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, o fertilizantes utilizados en actividades del agro.  <b>-Servicios Municipales</b> Residuos recolectados del barrido y limpieza de calles. Dentro de éstos se encuentran residuos aprovechables y no aprovechables.	De acuerdo a su composición química pueden ser:  <b>-Orgánicos.-</b> Aquellos que tienen la particularidad de desintegrarse fácilmente y rápidamente tales como restos de: frutas, hortalizas, comidas etc.  <b>-Inorgánicos</b> Aquellos que por su constitución química sufren una descomposición natural lenta. Este grupo constituyen residuos de: plástico, vidrio, latas etc.	<b>-Inertes.-</b> Residuos generados a partir de construcciones, demoliciones, excavaciones etc.  <b>-No Inertes.-</b> Residuos que tienen la característica de emitir radioactividad, toxicidad y corrosividad.  <b>-Peligrosos.-</b> Residuos que en base a su constitución química y física deben ser manejados y estar bajo los límites permisibles establecidos por leyes ambientales vigentes.

**Realizado por:** CABRERA, Ariel, 2018

**Fuente:** Contreras, 2006, pp.12-25

### 1.6.2. Producción Per Cápita

La producción per cápita es un valor que varía en relación a distintos factores tales como: nivel económico social, cultural, ubicación geográfica, estación del año, tamaño de la población de un determinado pueblo o comunidad. La producción per cápita puede definirse principalmente en: kilogramo por habitante y día, kilogramos por hogar y por día o kilogramos por cuadra por día (Jiménez, 2015, p. 6).

Matemáticamente, la producción per cápita es la razón entre la cantidad en peso de residuos sólidos generados a diario expresados en kilogramos y el número de personas que tiene una comunidad, la siguiente ecuación determina el cálculo de la producción per cápita (Jiménez, 2015, p. 6).

$$PPC = \frac{Pw (kg)}{Np}$$

(Ec. 1-1)

Donde:

PPC= producción per cápita en (kg/hab\*día)

Pw= Peso diario de residuos en (kg/día)

Np= Número de personas.

Para todas las actividades que involucran la gestión eficiente de residuos sólidos es importante conocer la cantidad de la producción per cápita de un determinado pueblo o comunidad, ya que será el punto de partida en el manejo de los residuos sólidos (Castillo Meza y Luzardo Briceño, 2013: p.34).

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

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos hoy en día, es una actividad que ha cobrado significativa importancia a nivel mundial, entendiéndose como aprovechamiento de residuos orgánicos al conjunto de procedimientos continuos, partiendo desde la materia prima orgánica “residuos que puedan ser reutilizados” hasta llegar a obtener un producto o subproducto utilizable que preste beneficios para determinadas actividades y que posea un valor económico comercial (Jaramillo y Márquez, 2008: p.34).

El aprovechamiento de los residuos orgánicos minimiza acumulación de basura orgánica, contribuyendo a reducir la contaminación ambiental, debido a que en muchos lugares del planeta aún no cuentan con las tecnologías necesarias para darle un procesamiento adecuado a los residuos sólidos orgánicos generados, almacenando estos residuos en cualquier sitio, originando focos contaminantes (Jaramillo y Márquez, 2008: p.34).

Sin embargo, es importante conocer, que el aprovechamiento de residuos orgánicos debe darse siempre y cuando sea económicamente posible, técnicamente factible y ambientalmente beneficioso (Jaramillo y Márquez, 2008: p.34).

En base a leyes y acciones legales nacionales como extranjeras con referencia a residuos orgánicos, se debe tener en cuenta que los residuos orgánicos son materia prima y que se los tiene que dar un adecuado tratamiento bien sea: compostaje, generación de biogás, incineración con producción de energía, entre otros más (Jaramillo y Márquez, 2008: p.35).

## **1.7. Compostaje**

El compostaje es una descomposición biológica aerobia de una mezcla heterogénea de sustratos orgánicos que bajo condiciones específicas controladas de temperatura, pH, humedad y aireación permite la obtención de un producto estable e higienizado denominado abono, ideal para fertilizar los suelos así como acondicionarlos y mejorar su calidad (Avendaño, 2003, p.3).

A lo largo del proceso de compostaje se da una serie de reacciones bioquímicas en las que las distintas poblaciones de microorganismos presentes tales como: hongos, bacterias y actinomicetos transforman en presencia de oxígeno los residuos orgánicos en biomasa. La disponibilidad de una óptima cantidad de oxígeno conlleva al buen desarrollo del proceso de obtención de compost (Avendaño, 2003, p.3).

En cada fase del proceso de compostaje, se debe llevar un adecuado control de parámetros tales como: pH, aireación, humedad, temperatura, esto conlleva a obtener buenos resultados caso contrario el proceso de degradación biológica de la materia orgánica puede generar productos finales de mala calidad (Avendaño, 2003, p.3).

### ***1.7.1. Sistemas de Compostaje***

Para determinar el tipo o sistema de compostaje, hay que tomar en cuenta una serie de criterios que favorezcan el proceso, estos son: costos de inversión, condiciones climáticas del lugar, área requerida, control de olores, ventilación de aire, duración del proceso y tipo de residuos con los que se cuenta (Gutiérrez, 2014, p.26).

La clasificación más común de las metodologías de procesos de compostaje generalmente utilizadas se da en función del aislamiento de residuos a compostar con respecto al ambiente exterior, determinando de esta manera la utilización de: sistemas abiertos, semi cerrados y cerrados (Gutiérrez, 2014, p.26).

Los sistemas abiertos, generalmente involucran menor costo que los semicerrados y cerrados, sumado a esto, son más sencillos los procedimientos de manejo e instalación de los procesos de compostaje con la única desventaja que se encuentran bajo influencia directa de las condiciones climáticas e invasión de roedores e insectos; en los sistemas semi cerrados el proceso de producción de compost se lleva a cabo en estructuras denominadas trincheras que son construcciones a manera de naves cubiertas y cerradas en donde la aireación se debe dar a través de volteos mecánicos o humanos (Gutiérrez, 2014, p.27).

En los sistemas cerrados, los valores económicos de manejo e instalación son muy costosos, ya que se debe contar con los equipos y maquinaria sofisticada que permita controlar el proceso y emisiones generadas durante el mismo (Gutiérrez, 2014, p.29).

**Tabla 4-1.** Sistemas de Compostaje

<b>Sistemas Abiertos</b>	Pilas o hileras con volteo	Se da la remoción de la pila de forma periódica con la finalidad de homogenizar la mezcla.
	Pilas estáticas aireadas	Se da la inyección mecánica de oxígeno a las pilas.
<b>Sistemas Semi-cerrados</b>	Trincheras o canales semi-cerrados	Se da volteos mecánicos a través de maquinaria, esto ayuda a tener un control de parámetros durante el proceso de compostaje.
<b>Sistemas Cerrados</b>	Túneles estáticos	Cuenta con maquinaria sofisticada para aporte de oxígeno, humedad, control de pH, temperatura y recolección de gases y lixiviados generados.
	Tambores o cilindros rotatorios	Inyección continua de oxígeno a través de cilindros con diámetros pequeños colocados de manera horizontal y con ligera inclinación en las camas.

Realizado por: CABRERA, Ariel, 2018

Fuente: Gutiérrez, 2014, pp.26-30

#### 1.7.1.1. *Sistemas Abiertos*

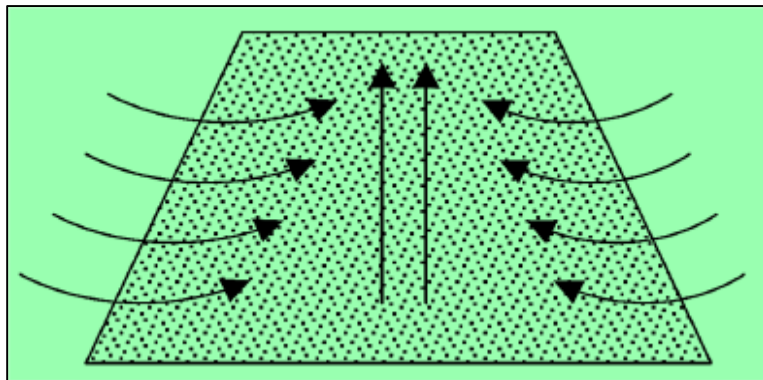
Los sistemas abiertos constituyen procedimientos fáciles de instalación y manejo, tiene un costo económico rentable, la adecuación y control de: aireación, temperatura, pH, humedad, es fundamental para que se lleva a cabo exitosamente el proceso, la desventaja de estos métodos es que se encuentra bajo influencia directa de las condiciones meteorológicas e invasión de insectos y roedores (Gutiérrez, 2014, pp.27-28).

##### *Pilas o hileras con volteo*

Esta técnica se caracteriza por realizar volteos de manera periódicamente con la finalidad de tener en la pila condiciones óptimas de temperatura, pH, humedad, oxígeno, evitando posibles eventos

de medios anaeróbicos en el interior de las pilas, lo cual dificultaría el proceso de compostaje (Gutiérrez, 2014, p.27).

Las pilas bajo este sistema cuenta con dimensiones que oscilan entre 1.5 m de alto y entre 2.5 a 3 m de ancho en su base, su longitud puede variar. De un adecuado sistema de aireación depende el desarrollo de las actividades microbiológicas que se llevan a cabo durante el proceso de compostaje caso contrario el producto final puede requerir mucho tiempo hasta alcanzar niveles óptimos de estabilidad (Gutiérrez, 2014, p.27).

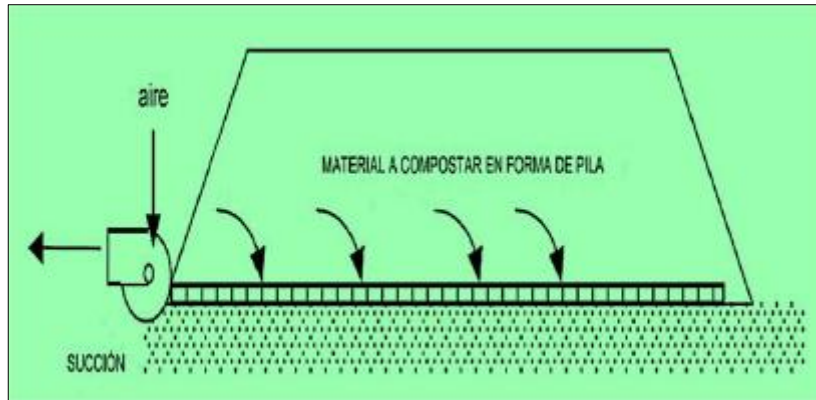


**Figura 1-1:** Flujo de aire por una pila con volteo  
Fuente: (Mohedo, 2002, pág.3)

#### *Pilas estáticas aireadas*

Bajo este sistema, los residuos orgánicos o materiales a compostar se ubican sobre unos tubos que inyectan aire a la pila, esto con la finalidad de enfriarla y excluirla de ella vapor de agua, dióxido de carbono y demás productos que se dan en la degradación biológica. Los componentes que constituyen este tipo de pilas son: capa de material poroso ubicado en la base, red de repartición de oxígeno, material a compostar y un sistema de control en la cantidad de suministro de aire a la pila (Gutiérrez, 2014, p.28).

Las ventajas que presta esta metodología, es que no se necesita realizar volteos manuales, es decir, en la fase inicial se debe dar una adecuada mezcla de los materiales a compostar ya que una vez construidas las pilas, el mismo sistema de control indica la finalización del proceso hasta que se haya dado la obtención de compost maduro (Gutiérrez, 2014, p.28).



**Figura 2-1:** Sistema de pilas estáticas aireadas.

Fuente: (Mohedo, 2002, pág.37)

### 1.7.1.2. *Sistemas Semi-cerrados*

Son sistemas que se encuentran constituidos por canales de hormigón abiertos, en donde se da volteos mecánicos a través de maquinaria sofisticada, esto ayuda a tener un control de parámetros durante el proceso de compostaje (Gutiérrez, 2014, p.28).

#### *Trincheras o canales semi-cerrados*

Corresponde a un sistema que desarrolla el proceso de compostaje en estructuras de hormigón a manera de canales abiertos en donde una máquina volteadora remueve periódicamente los materiales contenidos en la trinchera. Para esto la maquinaria se desplaza a través de unos rieles colocados sobre la trinchera haciendo eficiente la mezcla y aireación hacia la pila formada. Esto conlleva a que se debe realizar inspecciones frecuentes sobre los niveles óptimos de humedad en la pila (Gutiérrez, 2014, p.28).



**Figura 3-1:** Máquina volteadora en trincheras.

Fuente: (Cuba, 2016, pág.1)

### 1.7.1.3. *Sistemas Cerrados*

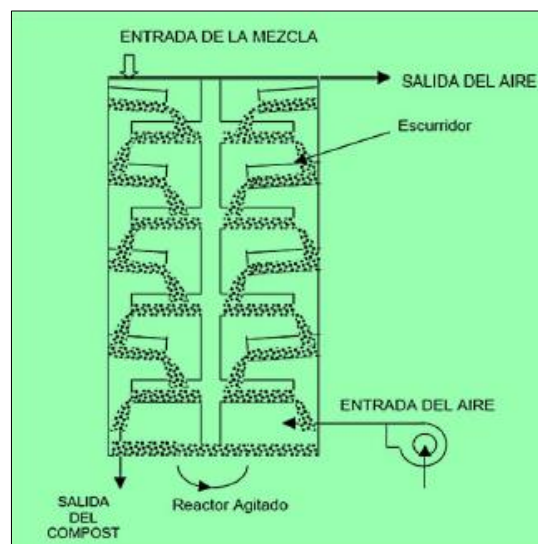
Se refiere a sistemas completamente cerrados, constituídos por infraestructura y equipos sofisticados que son altamente costosos, pero que permiten tener un control preciso de parámetros de compostaje y gases generados durante el proceso (Gutiérrez, 2014, p.29).

- *Túneles estáticos*

Es una estructura a manera de un contenedor, constituída generalmente de hormigón, aunque también puede estar construída por otros materiales, dentro de este receptáculo, se coloca el material a compostar, llenando comúnmente unos dos tercios la altura del túnel. Su sistema es muy sofisticado, pues disponen de aireación forzada, control adecuado de cantidades de humedad y oxígeno, instalaciones de riego y de recogida de gases como lixiviados (Gutiérrez, 2014, pp.29-30).

- *Tambores o cilindros rotatorios*

Es un sistema formado por tubos giratorios de pequeño diámetro, mismos que se encuentran ubicados horizontalmente sobre las camas a compostar, estos cilindros permiten el volteo de todo el material de manera continua o intermitente. Independientemente de la frecuencia de volteo, el sistema tiene la ventaja del control de parámetros tales como: temperatura de la pila, tiempo de compostaje, inyección y extracción de oxígeno. La desventaja más relevante de utilizar este tipo de metodologías es su alto costo de inversión (Gutiérrez, 2014, pp.29-30).



**Figura 4-1:** Sistemas de tubos giratorios.  
Fuente: (Mohedo, 2002, pág.39)

### 1.7.2. Técnicas de Compostaje

Entre las técnicas de compostaje mayormente empleadas tenemos:

- Compostaje.
- Vermicompostaje.
- Bocashi.

#### *1.7.2.1. Compostaje*

Es un procedimiento biológico que sufre un proceso de transformación de los residuos orgánicos hasta obtener un producto final denominado compost en condiciones controladas de parámetros relacionados al compostaje (Jaramillo y Zapata, 2008: p.35).

#### *1.7.2.2. Vermicompostaje*

Es un proceso que utiliza una especie de lombriz de tierra del género *Eisenia foetida*, denominada “Lombriz Californiana”, la lombriz es la encargada de alimentarse de los residuos orgánicos convertidos en forma de sustrato, para convertirlos a través de su digestión y sus consecuentes eyecciones en un producto final conocido como el humus de lombriz, este tipo de abono orgánico es el mejor de todos por sus altos contenidos de nitratos, potasio, fósforo intercambiable, magnesio intercambiable, lo cual favorece significativamente a la asimilación de nutrientes por parte de las plantas (Santos y Urquiaga, 2013: p.7).

#### *1.7.2.3. Bocashi*

El término bocashi es de origen japonés, su significado es: “materia orgánica fermentada”, este tipo de abono orgánico ha sido empleado desde hace muchos años por la gente japonesa dedicada a la actividad agrícola (Ramos Aguero y Terri Alfonso, 2014: pp.52-59).

El abono bocashi consiste en el resultado de un proceso anaerobio fermentativo que acelera la biodegradación de la materia orgánica (animal y vegetal), además incrementa la temperatura de la pila de compostaje para eliminar microorganismos patógenos, es decir, básicamente se fundamenta en los principios de una fermentación láctica (Ramos Aguero y Terri Alfonso, 2014: pp. 52-59).



#### *1.7.2.4. Técnicas de compostaje a aplicarse en la investigación*

En la presente investigación se aplicarán dos técnicas de compostaje: Takakura y Vermicompostaje.

##### *Técnica Takakura*

Es una técnica que consiste en la conversión de residuos orgánicos domiciliarios a un producto final denominado compost. Este método fue desarrollado por el Sr. Koji Takakura, quién trabaja en el Instituto de Investigaciones Medioambientales J-POWER/JPec, ubicado en Japón (JICA, 2014, p.1).

Esta técnica innovadora, consiste en la utilización de bacterias provenientes de una mezcla de ingredientes necesarios para elaborar la semilla Takakura tales como: cáscara de frutas; residuos vegetales como: col, nabo; sustancias sólidas y líquidas como: sal, azúcar, levadura, cuajo, yogurt y agua respectivamente. Esta combinación de ingredientes dan como resultado un producto llamado SEMILLA TAKAKURA, misma que al ser combinado con los residuos orgánicos generan un producto final denominado compost, la relevancia que presenta este método es que se consigue abono orgánico en un período corto de tiempo en condiciones controladas de oxigenación y humedad (JICA, 2014, p. 1).

En relación a la información brindada por el GAD Morona, en cuánto a los procesos que se siguen para elaborar compostaje a partir de la técnica Takakura, se puede describir el siguiente procedimiento (GAD Morona, 2018, p.2).

- Descripción general del proceso según la técnica Takakura
- Primeramente se lleva a cabo la recolección y cultivo de microorganismos, se cultivan los microorganismos fermentativos recolectados de los alimentos fermentativos, las hortalizas y las cáscaras de frutas con los que nos permita obtener dos soluciones: salada y dulce. Los ingredientes presentes en las soluciones salada y dulce son: cáscara de uva, cáscara de naranja, cáscara de manzana, cáscara de pepinillo, hojas de col, hojas de nabo, sal, agua potable y levadura, azúcar blanca, yogurt, cuajo de queso respectivamente. Posteriormente

se coloca en recipientes diferentes las dos soluciones, se sella con una funda plástica y se deja reposar por 7 días.

- Consecutivamente, se elabora la semilla mezclando las soluciones fermentadas (dulce y salada) con aserrín (polvo), harina blanca y hojarasca, cabe mencionar que finalizado este proceso se debe dejar reposar 9 días.
- Luego de los 9 días, se realiza la mezcla de residuos orgánicos desmenuzados con la semilla Takakura.
- Cuando la semilla ya está lista se realiza la técnica de compostaje en donde se da paso al proceso de Fermentación en trincheras dispuestas para compostaje, en donde se controlará la temperatura, pH y humedad.
- Esperar hasta que el compost esté maduro y apto para utilizarlo.

### *Vermicompostaje*

El Vermicompostaje es una práctica basada en el manejo de una especie domesticada, la Lombriz Californiana (*Eisenia foetida*), como herramienta de trabajo para transformar residuos orgánicos domésticos en un excelente abono. Esta actividad está fundamentada en procesos de descomposición natural, en el que la materia orgánica, además de ser atacada por los microorganismos existentes en el medio (hongos, bacterias y actinomicetos), también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz, lo que le aporta propiedades antibióticas y potenciadores radiculares, entre otros (Hernández, 2010, pp.2-7).

### Lombriz Californiana

La lombriz roja conocida como lombriz californiana, tiene la siguiente taxonomía:

- **Reino:** Animal;
- **División:** Anélidos;
- **Clase:** Cliteldos;
- **Orden:** Oligoquetos;
- **Familia:** Lombrícidos;
- **Género:** Eisinia;
- **Especie:** Foetida

La lombriz es hermafrodita, es decir tienen tanto órganos sexuales masculinos como femeninos, no pueden autofecundarse, por lo que para su multiplicación recurren a la fecundación cruzada, que no es más que el intercambio de espermatozoides de unas a otras (Díaz, 2012, pp.9-15).

Cuando ya se ha producido la fecundación, en el lugar donde se alimentan, depositan 3 cápsulas, éstas tienen paredes resistentes y se llaman cocones, en cada cápsula se encuentran de 3 a 10 lombrices bebés, estas lombrices son de color blanco y más pequeñas que su progenitora (55) (Díaz, 2012, pp.9-15).

Es por ello que se manifiesta que de una lombriz al cabo de 1 año se pueden obtener 10000 lombrices, esto si se cuenta con condiciones favorables de pH, humedad, temperatura y lombricompost, éste último hace referencia a que el sustrato se encuentre en buenas condiciones para que sea fuente de alimento para la lombriz. (55) (Díaz, 2012, pp.9-15)

#### *Características de las lombrices*

- Presentan coloración oscura.
- Su respiración es mediante su piel.
- Sensible a radiación solar, en caso de exponerla muere en pocos minutos.
- Su período de supervivencia es de 4.5 años, pueden llegar a producir 1300 lombrices cada año.
- Generalmente su tamaño oscila entre los 6 y 8 cm con un diámetro de 4mm.

Las lombrices que se encuentran en la pila de Vermicompostaje, continúan su paso alimentándose de la materia orgánica convertida en sustrato y a su vez depositan sus eyecciones, mismas que constituyen el humus de lombriz. El humus es el mejor fertilizante que puede existir en la naturaleza y es superior a cualquier otro tipo de fertilizante artificial, contiene 5 veces más nitrógeno, 7 veces más de potasio y 2 veces más de calcio (56) (Pedrero, et al., 2014: pp. 4-10).

Sin embargo, a pesar de ser el mejor fertilizante orgánico natural, para llevar a cabo el proceso de Lombricultura es indispensable tomar ciertas consideraciones que sin duda beneficiarán el proceso dando al final buenos resultados, estas consideraciones son:

- Humedad de 80%.
- pH neutro en un rango de (7-7.5).
- Sustrato rico en nutrientes.

### *Preparación del Sustrato*

Según (Pedrero, et al., 2014, pp. 4-10), el sustrato es el elemento fundamental para que se lleve a cabo un adecuado proceso de Vermicompostaje, el lombricompostado como también se lo conoce al sustrato formado a partir de los residuos sólidos orgánicos debe presentar las siguientes características:

- Aspecto similar a una masa cuasi-homogénea.
- No se pueda distinguir los distintos materiales de origen (residuos sólidos).
- pH cercano a la neutralidad.
- Aspecto poroso, desmenuzable.
- Temperatura no mayor a 35 °C.

En relación a la información brindada por el GAD Sucúa, en cuanto a los procesos que se siguen para elaborar Vermicompost a partir de la técnica **LOMBRICULTURA**, se puede describir el siguiente procedimiento (GAD Sucúa, 2017).

### *Descripción del proceso según la técnica Vermicompostaje*

- Inicialmente se fragmentan los residuos sólidos orgánicos con la ayuda de la máquina picadora que dispone la municipalidad, esto se realiza, hasta conseguir que los pedazos de residuos orgánicos posean alrededor de 3cm, esto facilita la descomposición de la materia prima orgánica por parte de los microorganismos; posteriormente se coloca, estos residuos picados en las trincheras destinadas para compostaje con las que cuenta el relleno sanitario del cantón.
- Seguidamente, se deja que los microorganismos empiecen a degradar la materia orgánica hasta que el alimento para las lombrices se haya formado. El compost para Lombricultura estará listo cuando ya no se pueda distinguir los distintos materiales que le dieron origen, teniendo un aspecto como una masa cuasi-homogénea, además de presentar un aspecto poroso y desmenuzable, pH neutro o cercano a la neutralidad, color marrón oscuro característico, temperatura no mayor a 35 °C y que sea aceptado por la lombriz. En esta etapa se va a controlar: humedad, temperatura, pH, aireación y volteo.
- Finalmente se esperará hasta que el abono esté maduro y sea apto para utilizarlo.

### *Prueba de Cajón de Vermicompostaje*

La prueba de cajón consiste básicamente en colocar sustrato y 100 lombrices dentro de una caja con dimensiones pequeñas, el objetivo de esto es averiguar si el material orgánico que ya sido preparado como alimento para las lombrices está listo, es decir cumple todos los requerimientos específicos para el desarrollo, crecimiento y reproducción de las lombrices. Esta prueba dura 24 horas, al transcurrir las 24 horas, si el 95% de las lombrices siguen con vida y se encuentran dentro de este sustrato colocado en la caja, da la pauta para afirmar que el alimento está listo y podrá ser colocado inmediatamente en las trincheras dispuestas para el compostaje, en caso de existir menor cantidad al 95% de lombrices iniciales, tras las 24 horas, se procede a concluir que el sustrato aún no está listo y se debe esperar más tiempo hasta que sea totalmente apto para ser utilizado en el Vermicompostaje (GAD-S, 2017).

### *Cosecha del Humus*

En la ciudad de Sucúa, Provincia de Morona Santiago, la cosecha del humus se la realiza cada 4 meses y medio, para ellos utilizan mallas delgadas plásticas, en cada trinchera de composteo se colocan las mallas a lo largo de la cama, sobre las mallas ponen estiércol de ganado vacuno, entonces las lombrices migran desde el interior hacia donde se encuentra el estiércol, quedando prácticamente atrapadas en las mallas, las lombrices son removidas y colocadas en otras camas, el humus resultante del proceso es recogido, tamizado y ensaquillado para ser comercializado o utilizado por la municipalidad (GAD-S, 2017).

#### **1.7.3. Parámetros del Proceso de Compostaje**

El proceso de compostaje es una actividad microbiológica que la desarrollan de manera directa todos los microorganismos presentes en el material a compostar, por lo cual, es de vital importancia comprender los factores que pueden incidir negativamente en el transcurso del compostaje (Román, et al., 2013: p.25).

Los parámetros requeridos para el control durante el proceso y la consecuente obtención de un producto final de buena calidad denominado compost son: porcentaje de humedad en la cama de compostaje, temperatura de la pila, aireación, pH, relación carbono nitrógeno y tamaño de partículas (Román, et al., 2013: p.25).

### 1.7.3.1. Parámetros operacionales

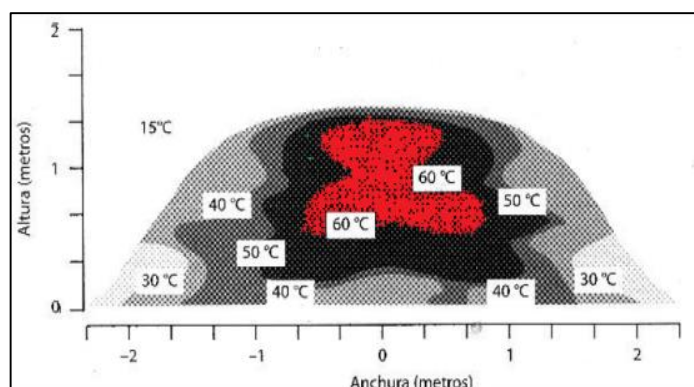
- Aireación

El compostaje es un proceso que realizan los microorganismos bajo condiciones aerobias, por lo tanto, es de vital importancia que los niveles de oxígeno en la pila sean los óptimos, evitando cualquier tipo de condiciones de anaerobiosis que puedan afectar la respiración microbiana (Arantzazu, 2014, p.6).

Cuando se forman las pilas, el almacenamiento de la cantidad de oxígeno es mayor en la parte superior que en la inferior, es decir externamente se posee entre 18 y 20%; mientras que en la parte inferior de la pila, hasta una altura de 55 a 60 cm, las concentraciones de dióxido de carbono oscilan entre 0.5 a 2% (Arantzazu, 2014, p.6).

Al tener insuficientes niveles de oxígeno en las pilas, los microorganismos aerobios perecen, originando la aparición de organismos anaeróbicos que provocan la presencia de características fermentativas, que a su vez generan malos olores producto de la formación de sulfuros, esto hace que el proceso de compostaje se vea retrasado, de igual manera, al mantener las pilas con exceso de aireación, provoca decreciones en los niveles de temperatura afectando los procesos metabólicos que llevan a cabo los microorganismos. (Román, et al., 2013: pp.25-26)

Cabe recalcar, que la aireación es un factor de control importante durante el proceso de compostaje, sin embargo, en la etapa de maduración del compost no es recomendable oxigenar la pila, debido a que si los niveles de oxígeno son altos, se puede inducir al consumo de ácidos húmicos e inmediata mineralización de éstos (Moreno Casco y Herrero Moral, 2008, p. 96).



**Figura 5-1:** Porcentaje de Oxígeno en una pila de compost.  
Fuente: (Piedad, et al., 2002: pág. 4)

- *Humedad*

Dentro del proceso de compostaje, tenemos otro factor de gran importancia, la humedad, misma que es imprescindible para el desarrollo de las necesidades fisiológicas de los microorganismos presentes en las pilas a compostar, la humedad constituye el medio de transporte de nutrientes a través de la membrana celular (Moreno Casco y Herrero Moral, 2008, p.96).

La humedad idónea para un compost de calidad es del 55%, aunque dicho porcentaje va a depender del tamaño de las partículas y el método empleado para el proceso de compostaje (Moreno Casco & Herrero Moral, 2008, p.96).

En situaciones en las que se tengan principalmente sustratos a compostar, tales como: aserrín, hojas secas, paja, los requerimientos de humedecer las pilas serán mayores que al utilizar sustratos vegetales, frutales, de corte de césped y residuos orgánicos domiciliarios. Por lo tanto, es importante saber que en función al tipo de residuos con los que se vaya a trabajar en el proceso de compostaje se debe establecer la frecuencia de humectación de las pilas, tanto que, si la humedad disminuye por debajo del 40%, la actividad biológica decrece, si se encuentra en valores menor o igual al 30 %, se originan condiciones limitantes en la pila y si desciende a valores menores al 12%, sencillamente la actividad microbiológica termina (Jiménez, 2015, p.14).

Si existe un valor de humedad menor al 45% en la pila, la actividad microbiana se verá afectada, por lo que se dificultará el proceso de degradación llevado a cabo por los microorganismos, y el compost resultante carecerá de estabilidad; si el porcentaje de humedad es superior al 70%, los espacios existentes entre las partículas del material a compostar se ven saturados por el agua, lo cual contribuye a que disminuya la cantidad de oxígeno en la pila y se originen condiciones anaeróbicas, produciendo malos olores, afectando la degradación biológica y retardando el proceso de compostaje (Tituaña, 2009, pp.20-21).

- *Potencial de Hidrógeno*

El pH, es un factor que limita la supervivencia de ciertas familias de microorganismos durante el proceso de compostaje, puesto que establece la solubilidad y disponibilidad de nutrientes. (Tituaña, 2009, p. 22)

El medio de vida para bacterias se encuentra en valores de pH entre 6 a 7.5, mientras que los hongos se desarrollan entre 5.5-8, cuando el compost se encuentra en la fase de maduración y si el proceso ha sido exitoso, los valores de pH se localizarán entre 6 y 7 (Tituaña, 2009, p.22).

Por lo general, para que un compost sea de calidad, su pH debe estar entre 6.5-8, si el compost adquiere valores entre 4 y 5, el proceso no fue correctamente manejado, si el pH del compost alcanza valores de 9,5 la población microbiana no se desarrolla, existiendo pérdida de nutrientes que no pueden ser asimilados por los microorganismos (Tituaña, 2009, p.22).

- *Temperatura*

Cuando ya se han elaborado las pilas con el material a compostar, la temperatura es un factor trascendental en el proceso de compostaje, ya que inicialmente la pila se encuentra a temperatura ambiente, pero a medida que van pasando los días, ésta empieza a incrementarse producto de la actividad microbiana que van realizando los microorganismos. (Tortorolo, et al., 2008: p.42)

Durante el proceso de compostaje, la temperatura debe oscilar en un rango de 35-65 °C, debido a que cada grupo específico de microorganismos cumple con su función degradativa de materia orgánica, misma que la realizan a condiciones aceptables de temperatura, producto de esta actividad microbiana, se produce calor, generando incrementos significativos de temperatura en las pilas de compostaje (Gordillo, et al., 2011, pp:146-148).

Cuando en las camas se registran datos de temperatura por encima de los 60 °C, el material a ser compostado empieza a purificarse o higienizarse, es decir el proceso elimina los microorganismos patógenos, es importante saber, que tampoco se debe sobrepasar los 70 °C, ya que se pierde actividad microbiana lo cual influye directamente en el proceso de compostaje, para controlar la temperatura se deben realizar volteos, siempre que sea necesario (Casco y Moral, 2008: p.96).

Sin embargo, si la temperatura empieza a disminuir, puede ser que se deba a: falta de oxigenación o a su vez, este decrecimiento indica la iniciación del proceso final de compostaje, es decir se estabilizará hasta alcanzar la temperatura ambiental, un compost maduro debe tener un valor de temperatura próximo al del entorno, o a su vez como máximo 25 °C (Gordillo, et al., 2011: pp.146-148).

### *1.7.3.2. Parámetros químicos y relativos a la naturaleza del sustrato*



- *Densidad aparente*

Particularmente, cuando ya se cuenta con el abono orgánico final tras un óptimo proceso de compostaje, es fundamental determinar la densidad aparente, misma que no es más que la relación entre el peso y el volumen del producto a analizar, en este caso, el compost final (Gordillo, 2010, p. 35).

Múltiples investigaciones han logrado establecer que la densidad aparente del abono orgánico final debe oscilar entre 400-700 kg/m<sup>3</sup>, no obstante la densidad aparente puede verse afectada por parámetros tales como: humedad, capacidad de degradación de partículas, cantidad de materia orgánica y distribución de partículas (Gordillo, 2010, p.35).

- *Conductividad Eléctrica*

La presencia de la conductividad eléctrica se basa en la cantidad de sales que estén contenidas en la materia prima a ser compostada y también a los nitratos o iones de amonio que pueden llegar a formarse durante el proceso de compostaje o mediante la mineralización de la materia orgánica, esto conlleva a que la cantidad de nutrientes aumenten, con lo cual la conductividad eléctrica también se eleva, pero si en la cama de compostaje existe gran cantidad de humedad, esto provocará que las sales contenidas en la materia prima a compostar sean removidas, ocasionando que los valores de la conductividad eléctrica disminuyan (Gracia, 2012, p.38).

Al obtener el producto final del proceso de compostaje denominado compost, se debe tener en cuenta que para ser utilizado como fertilizante orgánico, no deberá sobrepasar límites de 3000us/cm, debido a que al tener valores altos de conductividad eléctrica, dificulta el proceso de absorción de agua por las plantas (ESPOL, 2014, p.4 ).

- *Materia Orgánica*

Al hablar de materia orgánica, se puede mencionar que proviene de la descomposición de restos animales, vegetales que se encuentran en la biomasa del entorno natural. Para esto se puede describir rápidamente tres formas generales en que se encuentra la materia orgánica en la naturaleza, la primera se refiere a materia orgánica que no ha sido transformada la cual está constituida por material orgánico proveniente de seres vivos, la segunda hace referencia a material orgánico semitransformado que se encuentra en estado de desintegración y finalmente la

última que la compone la materia orgánica totalmente desintegrada en la cual su proceso de transformación ha sido total y se la conoce como Humus (Gutiérrez y Carmen, 2014, p.22). (20)

En lo que respecta a compostaje, el parámetro materia orgánica es muy importante al momento de evaluar la calidad que posee el compost, debido a que mientras va avanzando el proceso de compostaje, los porcentajes de materia orgánica deben ir disminuyendo, producto de la mineralización de la materia a compostar así como también por la reducción del carbono en forma de anhídrido carbónico. Cabe mencionar que este decrecimiento en porcentaje del contenido de materia orgánica va a depender de lo más exitoso que se lleve a cabo el proceso de compostaje así como también de la capacidad de degradabilidad que posean los materiales a ser compostados. (Torrentó, 2010, p.11)

El decrecimiento en cuanto al porcentaje de materia orgánica en el proceso de compostaje se debe a dos etapas, en la primera debido a la reducción de carbohidratos producto de la transformación de sus cadenas carbonadas largas en cadenas cortas denominadas estructuras simples con el objetivo de dar origen a los ácidos húmicos; en la segunda etapa los porcentajes de materia orgánica se ven reducidos como consecuencia de la conversión de compuestos más complejos tales como la lignina para dar lugar a ácidos húmicos, sin embargo, en esta etapa estas transformaciones no llegan a finalizarse a lo largo del proceso de compostaje. En si los cambios que se dan en la disminución de cantidades de porcentaje de materia orgánica se deben a propiedades innatas del proceso tales como: actividad microbiana, factores físicos y químicos (Carrielo, et al., 2017, pp:26-35).

- *Nutrientes*

Antes de realizar las camas para llevar a cabo el proceso de compostaje, es indispensable conocer qué tipo de nutrientes están contenidos en los residuos orgánicos seleccionados, si es o no posible utilizarlos en la elaboración de abonos orgánicos. Los microorganismos presentes en sistemas de compostaje solamente se benefician de compuestos con estructuras moleculares simples existentes en los residuos orgánicos y aquellas moléculas complejas tales como las proteínas deben ser sintetizadas para poder ser aprovechadas (Navarro, 1999: pp.4-6).

Generalmente los residuos orgánicos contienen, Nitrógeno, Fósforo y Carbono, estos elementos son considerados macronutrientes, mismos que desempeñan un papel importante en el desarrollo y supervivencia de las actividades microbiológicas. El carbono es indispensable para dar origen a la síntesis celular formando el protoplasma de grasas, carbohidratos y lípidos; el fósforo es

importante en la generación de estructuras celulares con contenidos ricos en energía, ideales para el desarrollo de actividades microbianas mientras que la presencia de nitrógeno da lugar a la reproducción celular, ya que consiste prácticamente en la naturaleza proteica del protoplasma (Navarro, 1999, pp.4-6).

Es importante mencionar que si se llevó a cabo de la mejor manera el proceso de compostaje, es decir desde su inicio hasta su final, se va a apreciar un aumento en cantidad de concentraciones de algunos nutrientes presentes en el bioabono, esto como resultado de los procesos de transformación y conversión de los residuos orgánicos hasta llegar a un producto estable que pueda aportar positivamente al suelo y a las plantas (Jiménez, 2015, p.17).

- *Relación Carbono-Nitrógeno*

La relación carbono-nitrógeno es un factor muy importante para determinar la calidad del compost al finalizar el proceso, y va a depender básicamente de la clase de residuos orgánicos que han sido seleccionados para utilizarlos en la generación de compost. Inicialmente, los microorganismos presentes en los residuos orgánicos, utilizan el carbono como suministro de energía y a su vez el nitrógeno para formar proteínas y demás componentes del protoplasma celular, haciendo posible la asimilación del material celular (Mirabelli, 2008, p.31).

Las cantidades de la relación carbono-nitrógeno que generalmente se toman como referencia son aproximadamente de 25 a 30 partes de carbono por cada unidad de nitrógeno, pero también es importante mencionar que si la relación carbono nitrógeno es mayor a 35 ( $C/N > 35$ ), el proceso de compostaje se ve afectado puesto que disminuye su velocidad hasta que se consume el Carbono sobrante; si la relación carbono nitrógeno es menor a 35 ( $C/N < 25$ ), la rapidez del proceso no se ve afectada, pero existen pérdidas significativas de nitrógeno (en forma amoniacal) hasta que se alcanzan relaciones de carbono-nitrógeno convenientes (Pérez, 2008, pp. 226-227).

Cabe mencionar que a lo largo del proceso de compostaje, mientras se da la degradación de los residuos orgánicos cerca del 65% del Carbono se desprende en forma de anhídrido carbónico y alrededor del 35% es aprovechado por los microorganismos para realizar las síntesis de sus tejidos y también para originar el humus. Si el proceso de compostaje es manejado de la mejor manera, la relación carbono-nitrógeno desde sus inicios del proceso hasta la fase de maduración va disminuyendo conforme avanza el proceso, estabilizándose en relaciones aproximadas a 10:1. (Tituaña, 2009, p.17)

- *Tamaño de partícula*

El tamaño de partícula va relacionado con la actividad microbiana durante el proceso de compostaje, por lo tanto se recomienda que cuando se vayan a construir las pilas de compost, las dimensiones de las partículas no deben ser ni muy grandes ni muy pequeñas, si se tiene tamaños de partículas demasiado finas se puede producir compactación entre ellas y de esta forma dificultar el paso de oxígeno a través de la pila con lo cual se tendrían condiciones anaeróbicas retardando el proceso de compostaje, mientras que si el tamaño de partícula es muy grande la acción degradativa no se da adecuadamente y sólo se da en zonas de contacto entre ellas, afectando de igual manera el proceso de compostaje. Para ello se recomienda que el tamaño de partícula debe oscilar entre 1-5cm (Soto y Muñoz, 2002: pp.123-129).

### *1.7.3.3. Parámetros para evaluar la calidad del compost*

Desde el momento que se realizan las pilas de compostaje, se tiene un objetivo claro y preciso, convertir todos esos residuos sólidos orgánicos en un producto final que sea aprovechado en diferentes campos, de manera especial en cultivos y plantaciones agrícolas, para lo cual, el abono orgánico resultante del proceso de compostaje debe poseer condiciones libres de cualquier tipo de toxicidad que puedan perjudicar al desarrollo de las plantas y tener características físico-químicas que mejoren la calidad de los cultivos y del suelo. (Ministerio de medio ambiente, medio rural y marino, 2009, pp.19-21)

Para evaluar el producto final, se debe dar por terminado el proceso de compostaje solamente cuando el compost ya esté maduro, un abono orgánico alcanza el estado de madurez cuando ha transcurrido de 5 a 6 meses desde que se elaboraron las pilas, además este compost maduro presenta características de textura terrosa ligeramente húmeda que no mancha las manos al cogerla, de olor agradable, de temperatura similar a la ambiental, de color marrón oscuro y la no apreciación de materiales sin descomposición a excepción de aquellos de lenta descomposición tales como cáscara de huevo, ramas, etc. Los métodos que comúnmente se eligen para valorar el bioabono son: físicos, químicos y biológicos (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2009, pp. 19-21).

### *Métodos Físicos*

- *Color*

El color es un método físico directo que permite identificar los cambios que se van dando a medida que transcurre el proceso de compostaje, al inicio, cuando se elaboran las pilas, se puede apreciar

que la materia prima orgánica presenta una infinidad de colores propio de las características de cada elemento, pero conforme pase el tiempo y si se lleva a cabo un correcto seguimiento del proceso, los residuos orgánicos irán sufriendo transformaciones físico, químicas, biológicas en sus propiedades, adquiriendo un color final con tendencia a café oscuro, este color indica que gran parte del contenido orgánico de los residuos iniciales se han transformado en humus, esto se debe a la aglomeración de cromóforos, síntesis de melaoidinas y presencia de compuestos de doble enlace durante el proceso de composteo. (Jiménez, 2015, p. 20)

**Tabla 5-1:** Cambios de coloración del compostaje en base al proceso

Número	Color	Dificultad	Mejora	Análisis
1	Blanco	Masiva aparición de hongos y humedad	Voltear la pila mecánica o manualmente, verificar que los niveles de humedad no excedan.	La pila puede estar empezando a tener condiciones anaeróbicas y contener gran cantidad de humedad.
2	Gris	La pila puede presentar altos valores de temperatura por lo cual puede disminuir más de lo adecuado su nivel de humedad	Realizar volteos a la pila, inyectar oxígeno y humedecerla.	La pila contiene materia orgánica que no se ha degradado correctamente.
3	Verde Amarillo	Déficit de Oxígeno a través de la pila, presencia de valores de pH altos.	Evadir exceso en la cantidad de material orgánico fresco (verde).	Al momento de armar las camas existió demasiada de residuos orgánicos con coloración verde.
4	Verde	Material con aspecto chicloso, con tendencia a ser pegajoso	Realizar volteos, inyectar oxígeno a través de la pila, controlar excedentes de humedad.	Inadecuado Control del proceso, déficit de oxígeno.
5	Verdinegro	El producto tiene aspecto lodoso.	Controlar niveles de humedad, agregar material seco a la pila.	No se lleva un adecuado control del sistema.
6	Negro	Altos índices de Putrefacción de material.	Realizar volteos y airear adecuadamente la pila.	Se produce la putrefacción debido a condiciones excesivas de humedad.
7	Amarillo	Transformaciones inadecuadas de materia orgánica.	Extender etapa de transformaciones de materia orgánica para que se realice una buena degradación.	No se ha podido lograr una adecuada primera etapa del proceso de compostaje.
8	Verde café	Déficit de Oxígeno	Volteos más continuos.	Realizar un mejor seguimiento del proceso
9	Café claro	Retraso en la fermentación.	Realizar volteos manuales o mecánicos con el fin de evitar condiciones de fermentación lenta.	Control de proceso bueno, pero tardará más tiempo de lo indicado.
10	Café Oscuro	Ninguno	Ninguno	Condiciones cerca de las mejores, la actividad biológica se está desarrollando correctamente
11	Negro café	Ninguno	Ninguno	Este color indica la finalización del proceso, los controles del proceso se han desarrollado exitosamente.

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: Cruz, 2010, pp.32-33

- Olor

Los residuos sólidos orgánicos presentan un olor característico debido a la existencia de ácidos orgánicos que poseen bajo peso molecular, éstos son: ácido acético mayoritariamente mientras que ácido butírico, caproico, valérico y propiónico minoritariamente. En el transcurso de la fase mesófila se originan compuestos como: ácidos grasos volátiles (metabolitos intermediarios), aldehídos, cetonas y alcoholes (Jimenez, 2014, p.21).

De igual manera, existe la formación de compuestos azufrados tales como: dimetilsulfito y dimetildisulfito. Cuando no se lleva un adecuado control del proceso pueden aparecer condiciones anaerobias dando lugar a la formación de ácido sulfhídrico y mercaptanos, esto conlleva a la presencia de olores desagradables aunque esto sucede comúnmente en la fase inicial del proceso de compostaje donde tienen lugar las reacciones químicas producto de los incrementos de temperatura en la pila, originándose piracina y piridina (Jimenez, 2014, p.21).

Un compost maduro, no desprende malos olores, presenta características similares a tierra húmeda, originado por la excreción de geosmina, metabolito secundario formado por actomicetos mesófilos y microorganismos existentes en la etapa de maduración (Jimenez, 2014, p.21).

- Temperatura

La temperatura es uno de los factores sensoriales más importantes en el proceso de compostaje, inicialmente cuando se realizan las camas se inicia la fase mesófila en donde la temperatura puede llegar hasta los 45 °C, este incremento de temperatura es debido a la actividad microbiana, posteriormente se pasa a la fase termófila más conocida como etapa de higienización en donde la temperatura de la pila puede sobrepasar temperaturas de 45 °C, en donde mueren los microorganismos patógenos existentes en el proceso, cuando la temperatura empieza a descender por debajo de los 40 °C, los microorganismos mesófilos reinician su actividad, las condiciones del medio pueden tener pH ligeramente alcalinos, es decir se da una etapa de enfriamiento que puede durar por algunas semanas y se puede confundir con la fase de maduración, finalmente cuando la temperatura de la pila está a nivel ambiental, se puede decir que el proceso ha entrado en una fase de maduración en donde debe permanecer cerca de 2 meses para que el producto obtenga características estables que permitan que el compost final sea idóneo para utilizarlo. (Jimenez, 2014, pp.22)

## *Métodos Químicos*

- Iones

Los Iones que se analizaron en la presente investigación fueron: Sulfatos, Nitratos, Fosfatos y Cloruros. En el caso de sulfatos y cloruros, suelen sufrir procesos de solubilización desde el fertilizante orgánico hacia el suelo, esto se ve facilitado debido a las lluvias de pequeña intensidad y a la progresiva mineralización de la materia orgánica (Guerrero, et al., 2014: pp.109-115).

En el caso de nitratos y fosfatos, su biodisponibilidad es superior cuando provienen de la descomposición de la materia orgánica (Moreno Casco y Moral Herrera, 2008: p.361).

- pH

Este parámetro es importante en el control del proceso, puesto que en las fases iniciales las pilas adquieren valores ácidos producto de las transformaciones que se van dando, pero a medida que transcurre el proceso, ya en la etapa final, el compost presenta valores cercanos a la neutralidad indicándonos que el proceso se ha realizado adecuadamente (Moreno, et al., 2015: p.33).

- Conductividad eléctrica

La cantidad de conductividad eléctrica en las pilas de composteo está directamente relacionado con los componentes y naturaleza de los residuos orgánicos, de manera especial con la concentración de sales, existencia de nitratos y presencia de iones originados durante el proceso.

El control de este parámetro al final del proceso es fundamental, ya que para valores superiores a 3 uS/cm representa ser tóxico para las plantas (Salmerón, 2002, p. 83).

- Materia orgánica

La materia orgánica presente en el compost final se la evalúa en porcentaje, su determinación es muy significativa en cuanto a la calidad agronómica que posee. Al inicio del proceso de compostaje, su contenido tendrá valores elevados pero conforme transcurra el proceso, la cantidad de materia orgánica ira disminuyendo producto de la mineralización de la materia a compostar así como también por la reducción del carbono en forma de anhídrido carbónico. (39) (Valencia Cofre, 2016, pp. 18-20)

- Densidad aparente

La densidad aparente en un compost por lo general debe oscilar entre 400-700 kg/m<sup>3</sup>, no obstante la densidad aparente puede verse afectada por parámetros tales como: humedad, capacidad de degradación de partículas, cantidad de materia orgánica y distribución de partículas (Gordillo, 2010, p.35).

- Espacio Poroso Total

El espacio poroso se refiere a los sitios que constituyen el compost y que no es utilizado por sólidos. Dentro de la estructura porosa que pueda presentar el abono orgánico se distinguen microporos y macroporos (García, 2004, p.10).

Los macroporos son aquellos que retienen agua indispensable para el crecimiento de las plantas, mientras que los microporos no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, por lo tanto definen las características de drenaje y aireación de un compost (García, 2004, p.10).

- Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua que presente un compost, va a depender directamente del espacio poroso que posea, es decir, tanto la capacidad de infiltración de agua a través del abono como la capacidad de retención, misma que está regida por la existencia de micro y macro poros (Ibáñez, 2006, p.1).

- Capacidad de aireación

La capacidad de aireación que pueda presentar un compost es muy importante, ya que al ser incorporado al suelo, debe favorecer el abastecimiento de oxígeno, elemento indispensable para el desarrollo de la actividad microbiana y de las raíces de las plantas. Si el suelo no presenta una buena capacidad de aireación, el crecimiento vegetal y supervivencia microbiana se verán gravemente afectados (Araucaria, 2005, p.1).

- Contracción de volumen



La contracción de volumen de un compost se refiere al contenido máximo de humedad que éste puede tolerar antes de sufrir algún cambio en su volumen (Garzón, 2009, p.3).

- Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico de los residuos orgánicos varía de unos a otros, aunque se ha determinado que su valor promedio oscila aproximadamente cerca a los 40 meq/100, en base varios autores manifiestan que la capacidad de intercambio catiónico está muy relacionado con el parámetro de la relación C/N, y afirman que la (CIC) se incrementa a medida que el proceso avanza hasta llegar a un valor constante. Se considera que un compost está maduro cuando su CIC es mayor a 60 meq/100 g, expresado en peso de sustancia completamente libre de cenizas, este aumento en la CIC es debido a la disminución de la materia orgánica que se degrada fácilmente y al incremento de la materia orgánica humificada (Madrid, 2012, p.27).

- Micronutrientes y Macronutrientes

Los macronutrientes son aquellos que las plantas requieren en superior proporción, debido que constituyen los elementos químicos más exuberantes de su composición orgánica, mientras que los micronutrientes llamados también oligoelementos, son necesarios en pequeñas cantidades y, por ello, su presencia en las plantas es más inapreciable que en el caso de los macronutrientes. Sin embargo, su ausencia dificulta el buen desarrollo de los vegetales (Guerrero, et al., 2014: pp.109-115).

- Metales pesados

Indudablemente, un compost que contenga cantidades de metales pesados por encima de los límites máximos permisibles establecidos en normas vigentes tales como los de la EPA y los de la Unión Europea, afectará el desarrollo de cultivos vegetales y sembríos, por lo general cuando un compost al final presenta altos contenidos de metales pesados, significa que los residuos orgánicos iniciales pudieron haber estado mezclado con materiales como: pilas, residuos de pintura, materiales de mecánicas, aceites etc. Según los niveles de contenidos de metales pesados se determinará la toxicidad del abono orgánico, mismo que afecta la vida microbiana, los procesos biológicos tales como la degradación de la materia orgánica y fijación del nitrógeno en el suelo. (Rodríguez, et al, 2012: pp. 5-12)

## Métodos Biológicos

- Test de Germinación

El índice o test de germinación es una técnica que se realiza al final del proceso de compostaje, es decir, se realiza al compost maduro. Este método permite averiguar las propiedades fitotóxicas de compost inmaduros, fundamentalmente consiste en utilizar un extracto acuoso del compost para verificar la germinación y crecimiento de las semillas en este caso la de *Lactuca sativa* (lechuga), que son aquellas que poseen respuesta rápida (germinación) (Foti et al., 2005: pp.47-53).

Al comparar estos valores con los resultados que se obtengan de la germinación de las muestras patrones que se las realizan con agua destilada, se puede determinar el porcentaje de germinación de semillas así como también el porcentaje de elongación de sus raíces. Para valores que superen el 50% atestiguan que el compost es un producto maduro, estable y apto para ser utilizado en actividades agrícolas (Foti et al., 2005: pp.47-53).

### 1.7.4. Condiciones del proceso de compostaje

Para que se lleve a cabo un buen proceso de compostaje es importante considerar parámetros incondicionales que deben ser controlados a lo largo del proceso, es decir, de la efectividad con la que se realice el seguimiento en cada una de las pilas de: humedad, aireación y temperatura, va a depender el crecimiento de los diversos microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica, no obstante parámetros como el pH también condicionan el desarrollo normal de la actividad microbiana (Jaramillo y Zapata, 2008: p. 41).

**Tabla 6-1:** Parámetros de Compostaje

N°	Parámetro	Rango ideal al inicio (2-5 días)	Rango ideal (2-5 semanas)	Rango Óptimo compost maduro (3-6 meses)
1	Nitrógeno Total (Base seca)	2.5-3 %	1-2 %	~1%
2	Materia Orgánica (Base seca)	50% - 70%	>20%	>20%
3	Densidad	250-400 kg/m <sup>3</sup>	<700 kg/m <sup>3</sup>	<700 kg/m <sup>3</sup>
4	Temperatura	45-60 °C	45°C – Temperatura ambiental	Temperatura ambiental
5	pH	6.5-8.0	6.0-8.5	6.5-8.5
6	Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1.6 cm
7	Concentración de Oxígeno	~10%	~10%	~10%

8	Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
9	C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1

Fuente: FAO, 2013: p.31

### ***1.7.5. Etapas del Proceso de Compostaje***

El proceso de compostaje está basado en cinco etapas: Latencia, Mesófila, Termófila, Enfriamiento y Maduración, las cuáles serán descritas a continuación.

#### *1.7.5.1. Etapa de Latencia*

La etapa de latencia se lleva a cabo desde el instante en que se terminaron de elaborar las pilas de composteo hasta que se produzcan cambios significativos de aumento de temperatura como resultado del inicio de la actividad microbiana. Como esta etapa se da al comienzo del proceso, es importante que parámetros tales como: relación carbono-nitrógeno, pH, humedad, aireación estén bien definidos para que se pueda obtener al final un producto orgánico estable que contribuya al mejoramiento de las características de los suelos y al desarrollo de las plantas. Esta etapa va desde las 24 hasta las 72 primeras horas de iniciado proceso (Jiménez, 2015, p.26).

#### *1.7.5.2. Etapa Mesófila*

Esta etapa está determinada por la existencia de bacterias y hongos, las bacterias son las primeras en dar por iniciado el proceso de compostaje, ellas se alimentan de los carbohidratos que fácilmente pueden ser degradados para su supervivencia y al mismo tiempo poder reproducirse, los cambios de temperatura que tienen lugar en esta etapa van desde la temperatura ambiental hasta los 40 °C. En esta etapa también se pueden apreciar que el pH tiende a adquirir valores ácidos o ligeramente ácidos que van de 5.5-6, esto como resultado del cambio experimentado de los glúcidos y lípidos en convertirse en ácidos pirúvicos, los cuales originan el desarrollo de poblaciones de setas mesófilos con características de mayor resistencia a cambios de pH y humedad (Jiménez, 2015, p.26).

#### *1.7.5.3. Etapa Termófila*

Esta etapa se encuentra determinada por fluctuaciones de temperatura que van desde los 40 hasta los 70 °C, es importante mencionar que pasado los 60 °C organismos como los hongos perecen, entonces se da una multiplicación de poblaciones bacterianas y de actinomicetos, mismos que son

encargados de la degradación de ceras, proteínas y hemicelulosas. Se debe controlar que la temperatura no ascienda por encima de los 70°C, puesto que afectaría directamente la actividad microbiana y se podría dar un cambio de fase sin haberse completado correctamente la etapa termófila (Jiménez, 2015, p.27).

Es de vital importancia que las pilas de compostaje alcancen temperaturas altas, mismas que destruyen elementos patógenos, raíces, plagas y semillas de malezas que afectan la integridad del compost en elaboración (López, 2010, p.6).

**Tabla 7-1:** Biología del compostaje Aerobio

FASE	TIEMPO	TEMPERATURA	EVOLUCIÓN DE ESPECIES
Residuos frescos	>1 día	Ambiental	Insectos, gusanos, protozoarios, semillas de hierbas, patógenos, bacterias y hongos.
Fase Mesófila	15 horas	20 °C a 50 °C	Eclósión de huevos, larvas, huída de insectos, bacterias y hongos mesófilos.
Primera fase Termófila	56 horas	50 °C a 65 °C	Destrucción de huevos pertenecientes a larvas, insectos y tenia. Inicia destrucción de patógenos, bacterias, hongos termófilos y antibióticos.
Segunda fase Termófila	12 días	65 °C a 70 °C	Destrucción de patógenos, Salmonella, Bacilos intestinales, bacterias termófilas y desaparición de hongos.
Fase Termófila Final	15 días	70 °C a 45 °C	Destrucción final de patógenos. Bacterias termófilas y actinomicetos.
Maduración	20 días	45 °C a 25 °C	Desaparición de bacterias termófilas y mesófilas, Antibióticos, libre de patógenos.

**Realizado por:** CABRERA, Ariel, 2018

**Fuente:** (Piedad et al., 2015: p.4)

#### 1.7.5.4. *Etapa de Enfriamiento*

Si mediante los controles diarios de temperatura a cada una de las pilas de compostaje se nota que es menor a 60 °C, la etapa de enfriamiento se encuentra en curso, es aquí donde se da la reaparición de hongos termófilicos que asaltan la celulosa. Cuando la temperatura desciende por debajo de los 40 °C, se da la reactivación de los microorganismos mesófilos y a su vez el pH del medio también disminuye (Hernández, 2014, p.18).

#### 1.7.5.5. *Etapa de Maduración*

La etapa de maduración es aquella en la que el compost adquiere una temperatura similar a la del entorno natural, esta etapa puede durar dos o más meses, en este lapso de tiempo se producen reacciones secundarias de condensación y polimeración del humus (Jiménez, 2015, p.28).

#### ***1.7.6. Microorganismo que intervienen en el compostaje***

En el proceso de compostaje intervienen un sinnúmero de microorganismos que a lo largo del trayecto van apareciendo y reemplazando unos a otros, esto se debe a los notables cambios de temperatura que se dan en las diferentes fases de compostaje, al final el compost maduro contiene microorganismos benéficos que contribuyen al mejoramiento nutricional del suelo y plantas. Los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje son: bacterias, hongo, actinomicetos, protozoos y microorganismo fermentadores (Escobar, et al., 2012: p.76).

##### ***1.7.6.1. Bacterias***

Las bacterias son organismos vivos unicelulares que se encuentran en todos los entornos con y sin presencia de oxígeno, las bacterias poseen los menores tamaños microscópicos que el resto de microorganismos pero tienen la capacidad de reproducirse rápidamente y formar extensas poblaciones, obviamente si viven en ambientes donde las condiciones son óptimas para su supervivencia (Laich, 2011, p. 2).

Las bacterias son aquellos microseres que inician el proceso de degradación de la materia orgánica debido a que cuentan con una diversidad de enzimas que rompen químicamente componentes orgánicos, las bacterias más comunes son: cocos, bacilos, espirillas y espiroquetas (Jiménez, 2015, p.30).

La familia de las bacterias representa el 80% y 90% de los microorganismos presentes en el compost, dentro de estos altos porcentajes de existencia, se puede encontrar la familia de las *Pseudomonas fluorescentes*, mismas que el compost maduro y estabilizado pueden actuar como estimuladoras en el crecimiento adecuado de las raíces de las plantas además de protegerlas de los diferentes fitopatógenos (Jiménez, 2015, p.30).

##### ***1.7.6.2. Hongos***

Las poblaciones de los hongos están constituidos en menor cantidad que las bacterias pero con la diferencia que poseen mayor masa. Los hongos son los encargados de degradar polímeros

vegetales de estructura compleja que se encuentran muy secos, ácidos o a su vez contienen una escasa cantidad de nitrógeno para que las poblaciones bacterianas puedan descomponerlos fácilmente, permitiendo que el proceso de compostaje siga su curso. Cuando la temperatura alcanza niveles altos, los hongos mayoritariamente habitan en la capa externa del compost, presentando apariencia de coloración blanquecina con textura aterciopelada. (Zenz, 2015, p. 17)

#### *1.7.6.3. Actinomicetos*

Los actinomicetos son familias muy similares a la de los hongos en relación a su desarrollo, pero mantienen características más ligadas a la de las bacterias, los actinomicetos son aquellos que determinan o le proporcionan el olor característico a tierra al compost, cuando ya esté maduro (Jiménez, 2015, p.31).

Estos organismos tienen importancia con alta relevancia debido a que son los responsables de originar el humus, contienen enzimas capaces de fragmentar químicamente residuos orgánicos con elevado contenido de proteínas, quitina, lignina, celulosa, antibióticos, éstos últimos contribuyen a controlar la reproducción desmesurada de grupos bacterianos (Jiménez, 2015, p.31).

#### *1.7.6.4. Protozoos*

Son seres vivos que se encuentran en los lixiviados de los residuos orgánicos que serán utilizados para ser convertidos en compost, no se consideran microorganismos indispensables para el proceso de composteo, se alimentan de residuos orgánicos, pueden considerarse como consumidores de segundo orden que servirán de alimento de bacterias y hongos (Jiménez, 2015, p.32).

#### *1.7.6.5. Microorganismos fermentadores*

Son organismos que presentan un tamaño visible a simple vista, los microorganismos fermentadores se alimentan de la materia orgánica directamente y éstos pueden ser: ácaros, moscas, lombrices, limacos, caracoles y cochinillas. Generalmente este tipo de seres vivos se los puede apreciar en la etapa final de proceso de compostaje (Jiménez, 2015, p.32).

### **1.8. Compost**

El proceso de compostaje es considerado como una técnica biológica que utiliza microorganismos aerobios para degradar el material orgánico, teniendo un control a lo largo del proceso hasta

obtener un producto final denominado COMPOST. La meta de realizar compost es dar un tratamiento eficaz a los residuos orgánicos generados por las personas, además de contribuir al suelo con alto contenido de nutrientes mejorando indudablemente sus características físicas, químicas y biológicas (Porras, 2011, p.9).

### ***1.8.1. Clasificación del compost***

De acuerdo al tiempo en el que se encuentre el proceso de compostaje, el compost puede ser de tres tipos: compost frescos, compost maduros y compost curados (Jiménez, 2015, p.33).

#### ***1.8.1.1. Compost Fresco***

El compost fresco es aquel que a pesar de haber pasado por la etapa termofílica en donde se eliminan gran cantidad de microorganismos patógenos aún está en proceso degradativo, por lo que no es aconsejable colocar este abono directamente sobre las raíces de las plantas ya que al ser todavía un producto tierno, no estable puede afectar los sembríos agrícolas provocando reacciones controversiales en las plantas (Navarro García y Navarro García, 2014: p.184).

#### ***1.8.1.2. Compost Maduro***

El compost maduro es el producto o resultado final de todo un proceso de compostaje que ha sido controlado en todas sus etapas los diferentes parámetros de composteo, este tipo de compost reúne todas las características de estabilidad que un abono orgánico debe tener para contribuir nutricionalmente a los suelos y plantas, aunque no es recomendable aplicarlo directamente a las raíces de las plantas ya que podrían ocasionarles reacciones desfavorables. (Navarro García y Navarro García, 2014: p.184)

#### ***1.8.1.3. Compost Curado***

Son aquellos tipos de abonos orgánicos que han pasado por un gran lapso de tiempo de maduración y mineralización, por lo que al ser colocados directamente en las raíces de las plantas no les causará consecuencias negativas. (Navarro García y Navarro García, 2014: p.184)

### ***1.8.2. Control Sanitario del Compost***

El control sanitario del compost es un aspecto muy importante, debido a que si no se realiza un control adecuado durante todo el proceso de compostaje obtendremos malos resultados, es decir

un producto final no apto ser utilizado en plantaciones y cultivos agrícolas, puesto que por sus condiciones de no haber sido correctamente higienizado contiene elementos patógenos, que al ser colocados en contacto con el suelo y a través de la infiltraciones acuáticas se puede contaminar fuentes hídricas, representando ser una amenaza tanto para el ambiente como para los seres vivos (Gómez, et al, 2004, p.3).

La mejor vía para eliminar gran cantidad de microorganismos patógenos es a través de los controles de temperatura durante el proceso de compostaje, esto significa exponer el material orgánico por un período de quince días a temperaturas entre 38 y 40 °C, además en este tipo de temperaturas tiene su participación activa la digestión mesofílica de gran variedad de residuos orgánicos que se han utilizado para elaborar las pilas de compostaje, como consecuencia de la biodegradación mesofílica se obtiene dióxido de carbono, amonio y metano (Gómez, et al., 2004: p.3).

Lo concerniente a Coliformes y demás organismos fecales, en la etapa termófila son destruidos, mientras que a temperaturas mayores a 53 °C se eliminan por completo colonias de virus, bacterias y huevos de áscaris, quedando únicamente pequeñas poblaciones de microorganismos indicadores y protozoos (Gómez, et al., 2004: p.3).

Cuando los niveles de temperatura sobrepasan los 60 °C, se obtiene una destrucción significativa de cualquier tipo de elemento patógeno, esto solamente con que se encuentren expuestos a mencionada temperatura por lapsos de 30 o 60 minutos (Gómez, et al., 2004: p.3).

Sin embargo, a pesar de que se realice un exitoso control del proceso de compostaje, hay microorganismos como el virus de la hepatitis A, que puede sobrevivir a temperaturas sumamente elevadas, de allí su destrucción puede estar estrechamente ligada a aspectos tales como: temperaturas de la zona, tiempo de exposición y prácticas de gestión ambiental idóneas, ya que microorganismos patógenos como estos pueden alcanzar un tiempo de vida de hasta 60 días. (Gómez, et al., 2004: p. 3)

### ***1.8.3. Calidad del compost***

**Tabla 8-1:** Composición físico-química del compost

Nº	Parámetro	Valor	Unidad
1	Potencial Hidrógeno	7.8-8.0	Unidad
2	Materia Orgánica	35-40	%



3	Relación Carbono Nitrógeno	16-20	-
4	Humedad	40-50	%
5	Nitrógeno Total	1.5-1.8	%
6	Fósforo Total	0.8-1.0	%
7	Potasio	1.0	%
8	Calcio	1.0	%
9	Magnesio	0.9-1.0	%
10	Cobre	4.0	%
11	Zinc	3.0-4.0	%
12	Manganeso	0.5	%
13	Test de Germinación	Inferior al 80	%
14	Densidad	0.48-0.50	g/cm <sup>3</sup>
15	Presentación	Granulometría inferior a 10	mm

**Realizado por:** Cabrera Ariel, 2018

**Fuente:** Jiménez, 2015, p.35

#### ***1.8.4. Utilización del Compost***

Desde el momento que se recolecta los residuos a ser compostados se puede proyectar que la meta final es obtener un producto que vaya a contribuir al mejoramiento nutricional del suelo y plantas. El compost es el resultado de todo un proceso llevado a cabo, y sus características físicas, químicas y biológicas van a depender del material orgánico inicial, cuando ya se obtenga el abono orgánico maduro en base a análisis de laboratorio se podrá determinar cuál sería su mejor escenario de aplicación, es decir, si el compost tiene alto contenido de metales deben ser empleados para parques, parteres y jardines de una ciudad, mientras que si posee elevadas concentraciones de sales pueden ser aplicados en suelos agrícolas que presentan características de erosión, cabe recalcar que el porcentaje en cuanto a contenido de sales no debe sobrepasar el 0.5% sobre la cantidad de materia seca total (Brito, 2016, p.35).

#### ***1.8.5. Ventajas del compost sobre las propiedades del suelo***

Según (Jiménez, 2015, pp.35-36), las propiedades físicas y químicas que presenta el compost son:

##### ***1.8.5.1. Propiedades físicas***

- Al adicionarlo a los suelos regula la permeabilidad y el drenaje de los mismos.
- Mejora la estructura de los suelos
- Favorece el desarrollo de diversos microorganismos
- Da una tonalidad marrón oscura al suelo, esta coloración contribuye al almacenamiento de energía calorífica.

#### 1.8.5.2. *Propiedades químicas*

- Alto contenido en materia orgánica
- Alto contenido en N, P y K
- Adiciona micro y macro nutrientes al suelo.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.

#### 1.8.5.3. *Propiedades Biológicas*

El compost final contiene microorganismos benéficos al suelo, puesto que ellos se encargan de regular y estabilizar valores de parámetros importantes como pH, temperatura, permeabilidad, oxigenación, factores que mediante la actividad microbiana facilitan la mineralización del material orgánico, la amonificación, fijación del nitrógeno y su nitrificación (Navarro García y Navarro García, 2014, p.185).

### 1.9. Marco legal para los residuos sólidos y compost

Los artículos que se mencionarán a continuación son aquellos que constituyen el marco legal en cuanto a residuos sólidos vigente en el Ecuador.

**Tabla 9-1:** Marco Legal para el manejo de residuos sólidos

MARCO LEGAL	ARTÍCULO DONDE SE ENCUENTRA
Constitución política de la República del Ecuador. Registro oficial N° 449.2008/10/20	1; 3 numeral 5 y 7; 10; 14; 15; 30; 31; 32; 66;71;72;73;74;83;263; 264 numeral 1,2,3 y 4; 275; 277 numeral 1; 278 numeral 2; 395 numeral 1,2 y 3; 396; 397 numeral 1,2,3,4,5 y 6; 398; 399; 408; 411; 413; 414 y 415.
Plan Nacional del Buen Vivir Registro Oficial N°. CNP-002-2013, 2013/06/24	Numeral 6. Objetivos nacionales para el buen vivir, desde el 1 hasta el 11.
Políticas Nacionales de residuos sólidos	32;33
Ley Orgánica de Salud Registro Oficial. 423, 2006/12/22	1;3;6;11;95;96;97;98;100;104;117;118.
Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental Registro oficial. Suplemento 418, 2004/09/10	1; 6; 10; 11; 13; 14; 15 y 92.
Ley de Gestión Ambiental Registro Oficial. Suplemento 418, 2004/09/10	1;2;5;7;8;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23 numeral a,b y c ; 24;25;26;27;28;29;30;31;

	32;33;34;35;36;37;38;39;40;41;42;43;44.
Ley de Patrimonio Cultural Registro Oficial 465. 2004/11/19	9;15;16;18;20;21;22;23;25;27;28;29;30.
Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua Registro Oficial 305, 2014/08/06	1;2;3;4;12;13;22;23;24;27;32;36;37;38;39 57;58;59;60;61;64;66;67;68;69;74;79;80 81; 84 numerales a,b,c,d,e,f,g,h; 142;145;148;149;150;152;153;154;155;156 157; 158y 159.
Ley Reformativa al Código Penal Fue reformada el 2011/03/18	437 literal a,b,c,d,e; 607 literal a, b y c
Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre Registro Oficial N° 418; Septiembre 10 de 2004.	1;2;3;4;6 literal a,b,c,d,e,f,g,h,i,j; 7;8;9;10;12;13;16;23;24;29;52;54;55;56;57 58; 59; 60; 61; 62; 64; 71; 72; 75; 80 y 89.
Codificación de la ley de Aguas, N°.16 Registro Oficial 339, 2004/05/20	1;20;22
Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD) Registro Oficial 2010/10/15	7;116;136;137;263 competencia 1,2,3,4,5,6,7 y 8; 264 competencia 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14; 267 competencia 1,2,3,4,5,6,7,8; 277
Ministerio del Ambiente Ecuatoriano N°061, Reforma del Libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria Año II-N° 316- Mayo 2015	5; 6; 7.
Reglamento de Aplicación de los mecanismos de participación social establecidos en la ley de Gestión Ambiental D.E. 1040, 2008/04/22	6;7;8 literal a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k; 10; 16 Literal a,b,c.
Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental. Registro Oficial N°. 725 Diciembre 16 de 2002, rectificación suplemento Registro Oficial 31 de Marzo de 2003.	1;3;20;32;35;37
Ordenanza Municipal de Sucúa para el tratamiento de residuos sólidos. Registro Oficial N° 745, 15/01/2003	2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19 20;21;22;23; 24;25;26;27;28;29;30;31;32;33 34; 35; 36.

**Realizado por:** CABRERA Ariel, 2018

### ***1.9.1. Marco Legal para la elaboración de compost***

Teniendo como base referencial lo artículos citados en cuanto a residuos sólidos, es importante mencionar que nuestro país aún no dispone de normativas vigentes y que tengan aplicabilidad al momento de realizar abonos orgánicos, es por ello que hoy en día se recurren a normas internacionales vigentes que tiene como referencia la existencia de metales pesados, patógenos y vectores. Las normas internacionales que se emplean con frecuencia debido a que tienen gran aporte científico son las Normas EPA (Fed.Reg.40, CFR Part 503, 1981) y las de la Unión Europea (Council Directive 86/27/278/ EED) (Jiménez, 2015, p.41).

Por ejemplo, para el manejo de patógenos y vectores existentes en el composteo, las normas EPA, manifiestan que si se trata de sistemas con volteos, las pilas deben alcanzar una temperatura de 55 °C en la etapa termófila, por un lapso de 15 días, además de voltear las pilas 5 veces, mientras que si el sistema es de pilas estáticas para el control de vectores y patógenos se debe alcanzar una temperatura de 55 °C por un lapso de 3 días (Jiménez, 2015, p.41).

Actualmente, existen muchos países latinoamericanos que no tienen su propia normativa en lo que respecta a calidad de abonos orgánicos, aunque Chile tomó el mando al ser uno de los países pioneros en crear normativas de compost orgánico, naturalmente sus normas han sido basadas en normativas internacionales confiables como las de la EPA y la Unión Europea (Jiménez, 2015, p.41).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Diseño Experimental

##### 2.1.1. Tipo y diseño de la Investigación

El diseño de esta investigación fue experimental (DCA), dónde la variable independiente fue la calidad del compost y la variable dependiente fue la cantidad de lixiviados que se añadió a cada una de las camas. El diseño de la investigación estuvo determinado de la siguiente manera:

**Tabla 1-2.** Cantidad de lixiviado de acuerdo al porcentaje

% REF	LIXIVIADOS [mL]	
0%	<b>B</b>	0,0
25%	<b>L1</b>	125,0
50%	<b>L2</b>	250,0
75%	<b>L3</b>	375,0
100%	<b>L4</b>	500,0

Realizado por: CABRERA, Ariel, 2018

**Tabla 2-2.** Distribución del lixiviado en cada tratamiento

TRATAMIENTO	LIXIVIADOS [mL]
TKB	0,0
TKL1	125,0

TKL2	250,0
TKL3	375,0
TKL4	500,0
VCB	0,0
VCL1	125,0
VCL2	250,0
VCL3	375,0
VCL4	500,0
<b>TOTAL</b>	<b>2500,0</b>

Realizado por: CABRERA, Ariel, 2018

### **2.1.2. Unidad de Análisis**

La unidad experimental de la investigación fue de 100 Kg correspondiente a 5 tratamientos por proceso biológico.

### **2.1.3. Población de estudio**

La población de estudio de la presente investigación es la planta de Lombricultura ubicada dentro del Relleno Sanitario del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa.

### **2.1.4. Tamaño de la muestra**

No se calcula el tamaño de la muestras, ya que se trabajará con todas las muestras obtenidas experimentalmente, con un total de 80 muestras durante el Compostaje y Vermicompostaje. Todas las muestras serán tomadas por triplicado para el respectivo análisis de laboratorio. La cantidad de muestra recolectada por cada unidad experimental fue de 500 gramos durante el desarrollo del experimento, considerando un total de 8 muestras por unidad.

### **2.1.5. Selección de la muestra**

El método utilizado para la recolección de las muestras fue el método del cuarteo tomando 7 sub-muestras de diferentes partes de las unidades experimentales, para al final tomar una sola muestra representativa de aproximadamente 500g para su respectivo análisis en el laboratorio.

### 2.1.6. *Técnicas de Recolección de datos*

Para la recolección de datos se realizó lo siguiente:

- \*Caracterización inicial del lixiviado.
- \*Caracterización de la semilla Takakura.
- \*Mediciones diarias de temperatura, pH y humedad.
- \*Muestreo durante el proceso de compostaje.
- \*Análisis de laboratorio durante el proceso de compostaje.
- \*Registrar y tabular resultados.
- \*Realizar análisis estadísticos (ANOVA DCA y test tukey b).

## 2.2. Metodología

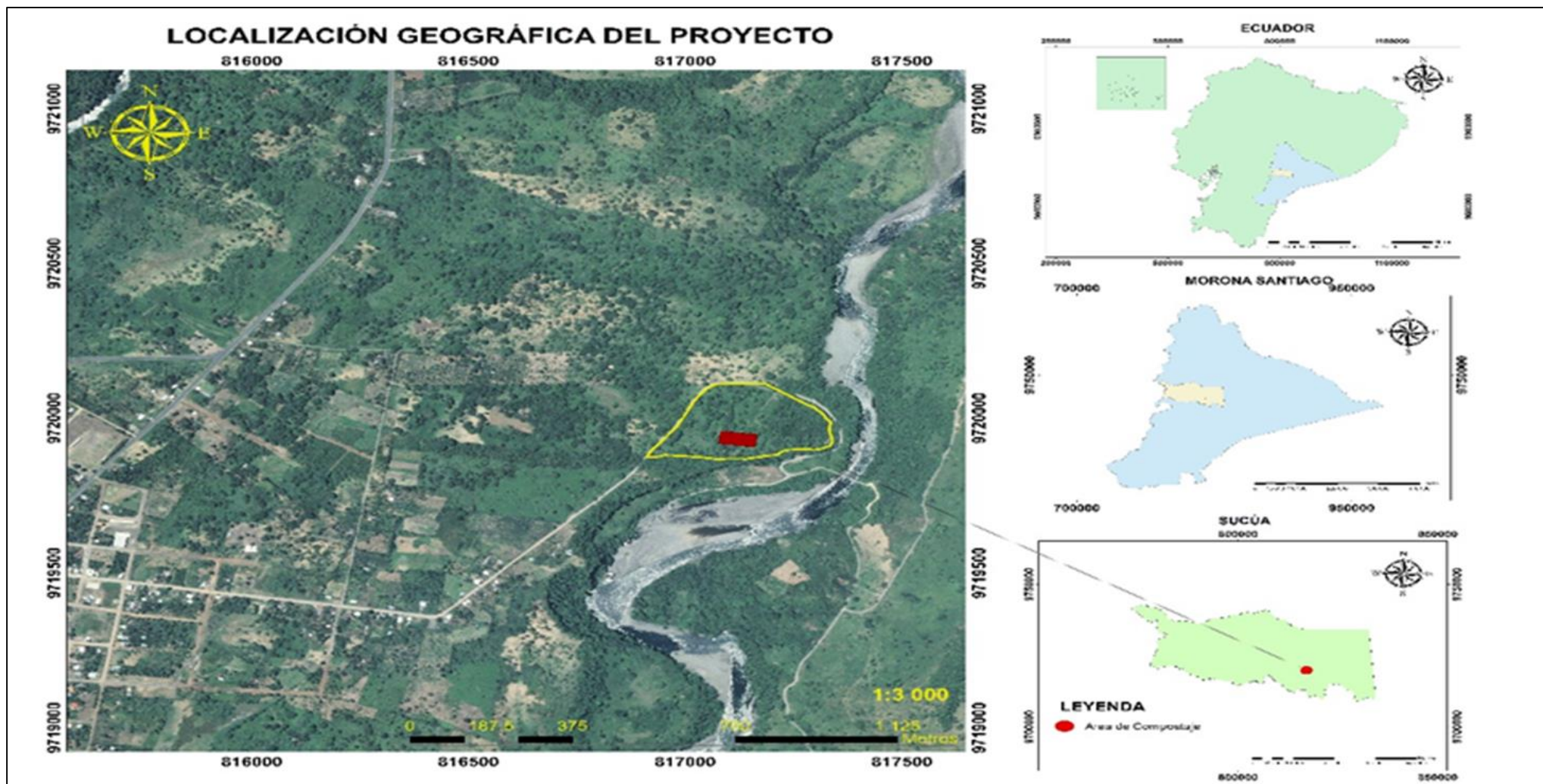
### 2.2.1. *Localización de la experimentación*

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en las instalaciones de la planta de Lombricultura localizada en la parroquia Huambi perteneciente a la ciudad de Sucúa, Provincia de Morona Santiago, en donde se elaboró abono orgánico en trincheras a partir de los residuos orgánicos recolectados. El área destinada para el proyecto se encuentra ubicado en el Km 2 de la vía Huambi-Cumbatza, en la continuación de la calle que conduce a las minas de piedra junto al Río Upano. El área donde se va a realizar el proyecto es de 2805,4 m<sup>2</sup>. Para su mejor comprensión se establece el gráfico del área del proyecto con sus respectivos puntos geográficos obtenidos con el GPS.

**Tabla 3-2.** Ubicación del Área del Proyecto en coordenadas UTM

<b>PUNTO</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTITUD m.s.n.m.</b>
1	9719952	817167	709
2	9719920	817174	709
3	9719928	817075	710
4	9719961	817081	711

Realizado por: CABRERA, Ariel, 2018



**Figura 1-2:** Localización Geográfica del Proyecto

**Fuente:** Departamento de obras públicas del GAD SUCÚA, 2017

Durante la fase experimental, se realizó una caracterización inicial de los materiales de partida tales como: residuos orgánicos, soluciones dulce y salada hojarasca, aserrín, harina, mismos que formarían parte del proceso de compostaje, así mismo se llevó a cabo un control de parámetros tales como: humedad de las camas, humedad ambiental, temperatura de las camas, temperatura ambiental, pH de las camas, esto se realizó durante todo el proceso de obtención de abono, al final se evaluó las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de todas las muestras tomadas lo largo de la investigación, los análisis que podían ser realizados por su fácil disponibilidad de equipos y reactivos tuvieron lugar en el laboratorio de Biotecnología y Calidad de agua pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, mientras que los análisis más complicados en cuanto a su disponibilidad de equipos y de tiempo se los mandó a analizar en los laboratorios acreditados CENTROCESAL de la ciudad de Quito, CESTTA de la ciudad de Riobamba y en la laboratorio de Ciencias biológicas de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

### ***2.2.2. Lugar de muestreo***

El muestreo del compost durante el transcurso del proceso de la investigación tuvo lugar en la planta de Lombricultura, la cual está bajo administración del GAD Municipal, se utilizaron dos técnicas: Takakura y Vermicompostaje.

### ***2.2.3. Elaboración de compost***

El proceso que se llevó a cabo para la elaboración de compost a partir de los residuos orgánicos generados por la ciudad de Sucúa, presenta algunos pasos, mismos que serán descritos a continuación.

#### ***2.2.3.1. Recolección de datos***

Para poder empezar a armar todo el tema de la investigación, se procedió a recolectar datos del lugar experimental en hojas volantes, en este caso acerca de la planta de Lombricultura de la ciudad de Sucúa.

Mediante charlas con el técnico responsable del manejo ambiental de los residuos sólidos orgánicos generados por la población Sucuense, se pudo conocer que semanalmente se genera 9 toneladas de residuos orgánicos, actualmente la técnica utilizada por el GAD es la Lombricultura, dicha técnica requiere como mínimo 120 días para obtener bioabono, esto hace que no se dé un



eficiente y acelerado tratamiento a los residuos orgánicos, produciendo que el material orgánico recogido por el carro recolector siga almacenándose en el área de compostaje, dando mal aspecto y generando presencia de vectores tales como: moscas, roedores, carroñeros etc., y a todo esto se suma la presencia de malos olores.

#### 2.2.3.2. *Caracterización inicial*

Se realizó la caracterización inicial de los materiales iniciales requeridos para el proceso. Para el método de Takakura se elaboraron soluciones dos soluciones: dulce y salada, además de contar con materiales tales como: hojarasca, aserrín y harina blanca indispensables en la elaboración de la semilla Takakura, los procedimientos de la elaboración de las soluciones dulce y salada serán descritas a continuación, además se realizó la caracterización de materiales como: lixiviados, hojarasca, residuos orgánicos y harina blanca.

#### *Materiales*

- Residuos sólidos orgánicos recolectados.
- Apuntes bibliográficos de las técnicas seleccionadas.
- Lixiviado.
- Cáscaras de uva.
- Cáscara de manzana.
- Cáscara de pepinillo.
- Cáscara de naranja.
- Hojas de col.
- Hojas de nabo.
- Agua.
- Sal.
- Yogurt.
- Azúcar.
- Levadura.
- Cuajo de queso.
- Recipientes plásticos de 20 L de volumen.
- Fundas Ziploc.
- Guantes estériles de laboratorio.
- Fundas estériles

- Cámara Fotográfica.
- Equipos de protección personal.

### *Procedimiento*

#### Solución Salada

- Se obtuvieron todos los ingredientes necesarios para elaborar la solución, mismos que se describen a continuación: 60.73 g de cáscara de uva, 107.15 g de cáscara de naranja, 48.02 g de cáscara de manzana, 136.43 g de cáscara de pepinillo, 1630.66 g de hojas de col, 1003.48 g de hojas de nabo, 11.60 litros de agua y 62.52 gramos de sal.
- En un botellón plástico grande de capacidad 20 litros, se puso la cantidad de agua establecida y se mezcló con todos los materiales descritos anteriormente. Luego se añadió los 65.52 gramos sal y se agitó hasta que se haya homogenizado adecuadamente.
- Después, se colocó una funda plástica a manera de tapa en el recipiente como método de protección de insectos.
- Se dejó reposar por una semana. Es importante mencionar que cuando ya se terminó de realizar la solución salada se tomó una muestra de 1 litro, misma que fue enviada al laboratorio de suelos de la Facultad de recursos naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su respectivo análisis.
- Finalmente, cuando ya transcurrió una semana, se retiró la funda plástica del botellón y se tomó una muestra de 1 litro, misma que fue enviada al laboratorio de suelos de la Facultad de recursos naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su respectivo análisis.

#### Solución Dulce

- Se obtuvo todos los ingredientes necesarios para elaborar la solución, mismos que se describen a continuación: 11.60 g de levadura (comercial), 1.14 litros de yogurt, 1.55 g de cuajo de queso, 11.60 litros de agua y 752.61 g de azúcar.
- En un botellón de capacidad 20 litros, se mezcló los materiales con la cantidad de agua señalada anteriormente, luego se colocó una funda plástica a manera de tapa en el recipiente como método de protección de insectos.
- Se dejó reposar por una semana. Es importante mencionar que cuando ya se terminó de realizar la solución dulce se tomó una muestra de 1 litro, misma que fue enviada al

laboratorio de suelos de la Facultad de recursos naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su respectivo análisis.

- Finalmente, cuando ya transcurrió una semana, se retiró la funda plástica del botellón y se tomó una muestra de 1 litro, misma que fue enviada al laboratorio de suelos de la Facultad de recursos naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su respectivo análisis.

#### Lixiviado

- Con la ayuda de un recipiente plástico y equipos de protección personal se recogió de los sumideros de drenaje de la planta, un volumen equivalente a 1 galón.
- Después, se codificó la muestra tomada y se la envió al laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH para su respectivo análisis.

#### Residuos Orgánicos

- Con la ayuda de los equipos de protección personal, se tomó del área de compostaje, una muestra representativa equivalente a 1 kg de residuos orgánicos descargados por el vehículo recolector, cabe mencionar que la toma de muestra se realizó aplicando el método del cuarteo.
- La muestra tomada, fue codificada y colocada dentro de una funda ziploc, para ser enviada al laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH para su respectivo análisis.

#### Harina y hojarasca

- De igual manera, con la ayuda de los equipos de protección personal, se tomó una muestra equivalente a 1 kg de harina blanca y de hojarasca, esta última se la consiguió en áreas de bosque circundantes a la planta.
- Las muestras tomadas, fueron codificadas y colocadas dentro de una funda ziploc, para ser enviadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH para su respectivo análisis.

#### 2.2.3.3. *Elaboración de la semilla Takakura*

Al finalizar la semana desde que se elaboró las dos soluciones dulce y salada, se procedió a elaborar la semilla Takakura, misma que es considerada por su composición como un coctel de microorganismos. Para la formación de la semilla, se necesitó materiales como: aserrín fino, hojarasca, solución dulce, solución salada y harina blanca. A continuación se describe el procedimiento.

### *Materiales*

- Aserrín fino.
- Hojarasca.
- Harina blanca.
- Solución dulce.
- Solución salada.
- Guantes estériles.
- Fundas ziploc.
- Pala cuadrada.
- Equipos de protección personal.
- Cámara Fotográfica.

### *Procedimiento*

- Se colocó 56.64 kg de aserrín fino sobre una plataforma de hormigón.
- Luego se añadió los 15.02 kg que pesaba la solución salada y los 13.89 kg que constituía la solución dulce
- Se colocó los 11.34 kg de hojarasca y los 5.67 kg de harina blanca.
- Finalmente, se homogenizó toda esta mezcla de elementos para formar la semilla Takakura, cabe indicar que se añadió agua hasta que la mezcla quede con una humedad del 50%. Inmediatamente que se terminó de elaborar la semilla se tomó una muestra representativa equivalente a 1 kg, la muestra tomada se la colocó en una funda ziploc y se la envió al laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH para su respectivo análisis. Tras transcurrir 1 semana igualmente se tomó una muestra representativa equivalente a 1 kg, la muestra tomada se la colocó en una funda ziploc y se la envió al laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH para su respectivo análisis.

Con todos estos procesos mencionados se cumplió la primera parte que fue la caracterización del material inicial. Los muestreos realizados a la semilla Takakura se los realizó bajo los protocolos del método del cuarteo, con el cual se pudo obtener una muestra representativa.

Las tablas que se encuentra a continuación, describen los análisis que se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

**Tabla 4-2:** Parámetros analizados a las muestras líquidas. (Lixiviado y soluciones dulce y salada).

<b>ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO &amp; QUÍMICO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
pH	-	Potenciométrico
Conductividad	uS/cm	Potenciométrico
Carbonato de Calcio	%	Volumétrico
Nitrógeno	%	Digestión
Fósforo	%	Colorimétrico
Potasio	%	Absorción Atómica
Calcio	%	Absorción Atómica
Magnesio	%	Absorción Atómica
Sólidos	%	Gravimétrico

**Realizado por:** CABRERA Ariel, 2018

**Fuente:** Departamento de suelos, 2017

**Tabla 5-2:** Parámetros analizados a las muestras sólidas. (Semilla Takakura, residuos orgánicos, hojarasca y harina).

<b>ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
pH	-	Potenciométrico
Conductividad eléctrica	mS/cm	Potenciométrico
Carbono Orgánico	%	Volumétrico
Nitrógeno	%	Digestión
Fósforo	%	Colorimétrico

Potasio	%	Absorción Atómica
Calcio	%	Absorción Atómica
Materia orgánica	%	Gravimétrico
Manganeso	ppm	Absorción Atómica
Hierro	ppm	Absorción Atómica
Magnesio	%	Absorción Atómica
Zinc	ppm	Absorción Atómica

**Realizado por:** CABRERA Ariel, 2018

**Fuente:** Departamento de suelos, 2017

La tabla que se encuentra a continuación, describe los análisis microbiológicos que se mandaron a realizar en el laboratorio del CESTTA de la ciudad de Riobamba.

**Tabla 6-2:** Parámetros analizados a la semilla Takakura.

<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
Aerobios Mesófilos	UFC/g	Recuento en placa
Bacterias Totales	UFC/g	Recuento en placa
Mohos y Levaduras	UFC/g	Recuento en placa

**Realizado por:** CABRERA Ariel, 2018

**Fuente:** Departamento de suelos, 2017

#### 2.2.3.4. Preparación del lugar

##### *Materiales*

- Etiquetas para camas de compostaje.
- Flexómetro.
- Ladrillos.
- Guantes para trabajos de construcción.
- Cámara fotográfica.

## *Procedimiento*

Previamente a la realización de la investigación, se inspeccionó el lugar de experimentación con lo cual se constató que existían estructuras con forma de cajones de hormigón que en términos de compostaje se denominan TRINCHERAS. En estas trincheras se procedió a realizar el presente trabajo de titulación. Posterior a esto, se diseñaron etiquetas las mismas que contribuyeron al control de cada tratamiento, las etiquetas fueron: TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4; con un total de 10 tratamientos, a continuación se describe el significado de cada etiqueta:

- TKB= Takakura “blanco”
- TKL1= Takakura más lixiviado uno.
- TKL2= Takakura más lixiviado dos.
- TKL3= Takakura más lixiviado tres.
- TKL4= Takakura mas lixiviado cuatro.
- VCB= Vermicompostaje “blanco”.
- VCL1= Vermicompostaje más lixiviado uno.
- VCL2= Vermicompostaje más lixiviado dos.
- VCL3= Vermicompostaje más lixiviado tres.
- VCL4= Vermicompostaje más lixiviado cuatro.

Las etiquetas de L1, L2, L3 y L4, también tienen un significado y éstos son:

- L1= Lixiviado equivalente a 125 mililitros.
- L2= Lixiviado equivalente a 250 mililitros.
- L3= Lixiviado equivalente a 375 mililitros.
- L4= Lixiviado equivalente a 500 mililitros.

Fueron dos trincheras juntas que el GAD municipal dispuso para realizar la investigación, es así que con la ayuda de un flexómetro se midieron y se registraron dimensiones de: 25 metros de largo por 1 metro de ancho (dividido a la mitad por 0.10 m de espesor y 0.45m a cada lado) y 0.40 metros de profundidad, como la experimentación contó con 10 tratamientos, los 25 metros de largo de cada trinchera se dividió para 5, resultando para cada unidad experimental un espacio de 5 metros de largo por 0.45 metros de ancho y 0.40 metros de profundidad.

En los límites de cada tratamiento se colocó una barrera conformada por ladrillo recubierto con plástico con el objetivo de evitar que los lixiviados se mezclen entre las diferentes unidades experimentales.

#### *2.2.3.5. Preparación del material orgánico*

El procedimiento que se llevó a cabo para la preparación del lugar, se lo describe a continuación:

##### *Materiales*

- Machete manual.
- Máquina picadora.
- Carretilla.
- Cámara fotográfica.

##### *Procedimiento*

- Se colocó los equipos de protección personal.
- Se trocearon los residuos orgánicos de gran tamaño con la ayuda de un machete, estos residuos fueron: troncos de banana, caña de azúcar y plátano.
- Cuando ya se trocearon los residuos de gran tamaño, se procedió a introducirlos dentro de la máquina picadora industrial que tiene el GAD. El tamaño requerido de fragmentación fue de 1-3 cm.
- Finalmente, los residuos se colocaron en una carretilla para su traslado hacia las trincheras, lugar donde se armaron las camas de compostaje.

#### *2.2.3.6. Implantación de las Camas*

Cuando ya se contó con todos los materiales necesarios para la elaboración de las pilas de compostaje se procedió a implantarlas exactamente el lunes 10 de abril de 2017, para esto se llevó un procedimiento, mismo que describo a continuación.

##### *Materiales*

- Palas cuadradas.



- Semilla Takakura.
- Residuos sólidos orgánicos.
- Aserrín fino.
- Flexómetro.
- Carretilla.
- Medidor de humedad de la cama y pH.
- Termómetro digital portátil.
- Cámara fotográfica.
- Balanza digital.
- Formato de registro de control de proceso de la tesis.

### *Procedimiento*

#### Método Takakura

- Primeramente, se colocó los equipos de protección personal.
- Posteriormente, se colocó a manera de base 5.53 kg de aserrín fino, el cual se lo tendió sobre la estructura de hormigón en dimensiones de 1m de largo por 0.35 m de ancho.
- Luego se añadió 10 kg de semilla Takakura.
- Seguidamente se colocó 100 kg de residuos sólidos orgánicos.
- Después se colocó otros 10 kg de semilla Takakura.
- Finalmente se colocó 5.53 kg de aserrín, esto quiere decir que las camas de compostaje con el método japonés quedaron establecidas de 1 metro de largo, por 0.35 m de ancho y 0.7 m de alto. De esta manera se realizaron las 5 camas que estaban regidas bajo el método Takakura, tras la implantación de las pilas se tomaron datos de temperatura ambiental, temperatura de la cama, humedad ambiental, humedad de la cama y pH.

#### Vermicompostaje

- Se colocaron 100 kg de residuos sólidos orgánicos sobre la estructura de hormigón que poseía cada trinchera.
- Se dejaron en reposo los residuos orgánicos el tiempo que sea necesario hasta que éstos se encuentren en condiciones óptimas para ser sustrato de las lombrices.
- Cuando los residuos orgánicos colocados inicialmente en las trincheras ya se convirtieron en sustratos, se procedió a inocular 100 lombrices en cada tratamiento de Vermicompostaje. De

esta manera se realizaron las 5 camas que estaban regidas bajo el método Vermicompostaje, tras la implantación de las camas se tomaron datos de temperatura ambiental, temperatura de la cama, humedad ambiental, humedad de la cama y pH.

#### *2.2.3.7. Pruebas de Cajón con las lombrices Californianas*

Para la técnica de Vermicompostaje, se llevó a cabo el desarrollo de pruebas de cajón, mismas que dieron la pauta precisa el momento de inocular las lombrices en el sustrato.

##### *Materiales*

- Cajón de madera de 50 cm de largo por 50 cm de ancho y 10 cm de profundidad.
- 100 lombrices Californianas.
- Agitador de madera.
- Reloj.
- Hojas de registro.
- Cámara Fotográfica.

##### *Procedimiento*

- Primeramente, se colocó una cantidad de 1 kg de residuos orgánicos dentro de un extremo del cajón de madera.
- Luego se dispuso 100 lombrices en el otro extremo del cajón.
- Se registró las condiciones de humedad y temperatura.
- Se esperó que transcurrieran 24 horas para la cuantificación de lombrices.

Al término de las 24 horas, con la ayuda de un agitador de madera se contó las lombrices sobrevivientes, esta prueba se realizó dos veces, la primera se llevó a cabo a los 10 días de haber iniciado el proceso donde se obtuvieron resultados negativos ya que de las 100 lombrices colocadas solo 2 sobrevivieron las 24 horas mientras que la segunda vez tuvo lugar el 29 de abril, es decir a los 20 días del inicio del proceso, en esta ocasión ya se vieron otros resultados, de las 100 lombrices colocadas 95 estaban con vida tras las 24 horas transcurridas, por lo tanto el día 30 de abril se dispuso a colocar las 100 lombrices en cada tratamiento correspondiente a Vermicompostaje. Esta prueba se lo realizó para averiguar con certeza si el material orgánico reunía las condiciones apropiadas para el crecimiento y reproducción de las lombrices.

#### 2.2.3.8. *Control de parámetros*

Para el control diario de parámetros, se llevó a cabo una serie de pasos, los cuáles se describen a continuación.

##### *Materiales*

- Medidor de humedad de la cama y pH.
- Termómetro digital portátil.
- Jarra plástica de 1L.
- Agua.
- Cámara fotográfica.
- Formato de registro de control de proceso de la tesis.

##### *Procedimientos*

###### Temperatura ambiental y Humedad ambiental

- Se registró diariamente el valor de la temperatura ambiental y humedad ambiental con la ayuda de un termohigrómetro, mismo que se colocaba en el borde de la trinchera cuando se llegaba a realizar el control diario, cabe recalcar que este procedimiento se lo realizó a lo largo del proceso de compostaje.

###### Temperatura de las camas

- Primeramente, se retiraba la cubierta de protección del termómetro digital.
- Luego, se introducía el vástago de 50 cm en la parte interna de la cama, este procedimiento se lo realizaba en 5 puntos diferentes. Simultáneamente se iban registrando los valores de la temperatura.
- Finalmente, se limpiaba el vástago del termómetro y se continuaba con la medición de los tratamientos faltantes.

###### Humedad y pH de las camas

- Primeramente, se retiraba la cubierta de protección del equipo multiparámetro.

- Luego, se introducía el vástago del equipo en el interior de las camas.
- Seguidamente, se seleccionaba el parámetro de medida en el multiparámetro (pH o humedad)
- Una vez seleccionado el parámetro de medida se registraba su valor, este procedimiento se lo realizaba en 3 lugares diferentes de la cama.
- Finalmente, se limpiaba el vástago del multiparámetro y se continuaba con la medición de los tratamientos faltantes.

Es importante mencionar que cuando el porcentaje de humedad de las camas bajaba del 45 % en los tratamientos del método Takakura, se adicionaba lixiviado y agua en dosis determinadas, mientras que para el método Vermicompostaje, esta acción se lo realizaba siempre y cuando el valor de humedad era inferior al 85%, puesto que las lombrices necesitan valores de humedad elevados para su supervivencia. La adición de agua se colocaba únicamente cuando el volumen del lixiviado no humedecía correctamente a las camas. El control de estos parámetros se los realizó por un lapso de 123 días, cuando el proceso de compostaje entró en fase de maduración, sólo se tomaba datos dos veces por semana y era de humedad de la cama.

#### *2.2.3.9. Realización de volteos*

La realización de volteos se lo realizaba siempre y cuando la temperatura de la cama empezaba a disminuir, para lo cual se llevaba a cabo una serie de pasos, mismos que se describen a continuación.

#### *Materiales*

- Palas cuadradas.
- Termómetro digital.
- Fundas Ziploc.
- Medidor de humedad de la cama y pH.
- Cámara Fotográfica.
- Formato de registro de control de proceso de la tesis.

#### *Procedimiento*

- Primeramente, se colocó los equipos de protección personal.

- Luego, con la ayuda de una pala cuadrada se trasladaba manualmente todo el material de la cama de compostaje a un área adyacente a la misma.
- Después, nuevamente se colocaba todo el material traspuesto al sitio inicial de la cama.
- Posteriormente al volteo, se realizaba la toma de muestra de cada tratamiento, misma que se la codificaba y colocaba dentro de una funda ziploc. La toma de muestras se lo realizaba aplicando el método del cuarteo.

A lo largo del proceso de compostaje, se realizaron 5 volteos, todos ellos siempre que fueron necesarios, cuando se volteaba las camas correspondientes a Vermicompostaje, se tenía más cuidado ya que se podía causar algún tipo de lesión a las lombrices inoculadas.

Es importante mencionar que cuando se realizaban los volteos se llegaba a obtener temperaturas de 50, 55 y 60 °C en las primeras semanas del proceso. Cuando los niveles de temperatura empezaron a descender hasta valores cercanos a la temperatura ambiental se suspendió los volteos, las camas entraron en fase de maduración y tras la etapa se dio por terminado el proceso de compostaje.

#### *2.2.3.10. Toma de Muestras*

Las camas de compost se elaboraron el 10 de abril de 2017. El abono orgánico se obtuvo después de 185 días contando desde el inicio del proceso, la etapa degradativa tuvo 125 días, es decir terminó el 9 de agosto de 2017 y la fase de maduración demoró 61 días, dando por terminado el proceso de compostaje el 10 de octubre de 2017, las muestras tomadas a lo largo de la elaboración de compost estaban totalmente etiquetadas para evitar confusiones en relación a la fecha y número de muestreo, todas las muestras fueron tomadas en una cantidad de 1 kg y fueron colocadas en fundas ziploc para su posterior análisis de laboratorio.

#### *Materiales*

- Guantes de Látex.
- Pala cuadrada.
- Fundas ziploc.
- Etiquetas de muestreo.
- Cámara fotográfica.

### Procedimiento

- Primeramente, se colocó los equipos de protección personal.
- Seguidamente, con la ayuda de guantes de látex se tomaba un puño de cada sector que conformaba la cama, hasta llegar a una cantidad de 2 kg.
- Luego mediante el método del cuarteo se recolectaba la muestra equivalente a 1 kg y se lo guardaba en una funda ziploc.
- Posteriormente, se secaba las muestras a temperatura ambiente por un lapso de 24 horas.
- Cuando ya transcurrían las 24 horas, se secaba las muestras en una estufa a 75 °C por otras 24 horas.
- Finalmente, se molía las muestras y se las guardaba en otra funda ziploc para su posterior análisis de laboratorio.

Durante todo el proceso de compostaje se realizaron 8 muestreos y al tener 10 unidades experimentales se reunieron 80 muestras totales. Las fechas y número de muestreo serán descritas a continuación:

**Tabla 7-2:** Fechas de muestreo del proceso de compostaje

N°	FECHA DE MUESTREO	EXPLICACIÓN DE MUESTREO	UNIDADES EXPERIMENTALES
1	10-04-2017	Material inicial	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
2	22-04-2017	Primer volteo	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
3	09-05-2017	Segundo volteo	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
4	23-05-2017	Tercer volteo	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
5	23-06-2017	Cuarto volteo	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
6	14-07-2017	Quinto volteo	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
7	09-08-2017	Fase de Maduración	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.
8	10-10-2017	Fase de maduración	TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4.

*Realizado por:* CABRERA Ariel, 2018

#### 2.2.3.11. Refinado

El proceso de refinado se lo realizó una vez que el compostaje terminó la fase de maduración, para lo cual se siguieron los siguientes pasos, mismos que se describen a continuación.

##### *Materiales*

- Saquillos grandes de capacidad 40kg.
- Zaranda de orificios 0.5cm.
- Guantes de Látex.
- Molino.
- Cámara fotográfica.

##### *Procedimiento*

- Se colocó todos los equipos de protección personal.
- Luego, se recogió todo el abono orgánico en saquillos debidamente etiquetados.
- Posteriormente, se construyó una zaranda que tenía una malla de orificios igual a 0.5cm de diámetro, esto permitió que todo el material grueso quede atrapado en la malla y el material fino pase a través de los orificios.
- Finalmente, con la ayuda de guantes de látex, se recogió el compost tamizado obteniendo así la muestra final del proceso de compostaje.
- Con la ayuda de un molino manual, se molieron todas las 80 muestras para analizarlas en el laboratorio.

#### 2.2.3.12. Almacenamiento

##### *Materiales*

- Saquillos de capacidad 40 kg.
- Etiquetas de tratamientos de compost.
- Cámara fotográfica.

##### *Procedimiento*

- El abono orgánico sobrante se lo colocó en saquillos correctamente etiquetados y se los dispuso en la bodega de almacenamiento de humus que tiene la planta de Vermicompostaje de la ciudad de Sucúa. Luego de comprobar mediante análisis de laboratorio la calidad que presenta el producto, el abono restante se entregó al GAD Municipal para que coloquen el compost en parteres y demás espacios verdes del cantón Sucúa.

#### **2.2.4. Ensayos para el análisis de la calidad del compost**

Los análisis de laboratorio los relacionamos con la caracterización inicial física y química de los materiales iniciales del proceso y compost, éstos fueron mandados a realizar en el laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, la caracterización inicial microbiológica de la semilla Takakura se envió al laboratorio del CESTTA al igual que los análisis de contenido de Carbono Orgánico Total y Nitrógeno Total de las muestras finales del proceso de compostaje; los análisis de capacidad de intercambio catiónico, micro y macro nutrientes, metales pesados se envió al laboratorio de CENTROCESAL de la ciudad de Quito. Todos los análisis de laboratorio se realizaron por triplicado. A continuación se describen los parámetros, métodos y unidades de los análisis mandados a analizar de las muestras de compost tomadas a lo largo del proceso.

##### *2.2.4.1. Análisis realizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de recursos naturales de la ESPOCH.*

**Tabla 8-2.** Parámetros analizados en la caracterización inicial.

<b>N°</b>	<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>MÉTODO/ TÉCNICA</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>1</b>	Potencial Hidrógeno	Potenciométrico	Unidades
<b>2</b>	Conductividad Eléctrica	Potenciométrico	uS
<b>3</b>	Carbono Orgánico	Volumétrico	%
<b>4</b>	Nitrógeno Total	Digestión	%
<b>5</b>	Fósforo	Colorimétrico	%
<b>6</b>	Potasio	Absorción Atómica	%
<b>7</b>	Calcio	Absorción Atómica	%
<b>8</b>	Magnesio	Absorción Atómica	%
<b>9</b>	Manganeso	Absorción Atómica	ppm
<b>10</b>	Hierro	Absorción Atómica	ppm
<b>11</b>	Zinc	Absorción Atómica	ppm



12	Sólidos	Gravimétrico	%
13	Materia Orgánica	Volumétrico	%
14	Carbonato de Calcio	Volumétrico	%

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: Departamento de suelos, 2017, p.1

#### 2.2.4.2. Análisis realizados en CENTROCESAL

**Tabla 9-2.** Análisis del CIC en el compost maduro.

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO/ TÉCNICA	UNIDAD
1	Capacidad de Intercambio Catiónico	MU 681	meq/100 g

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: Centrocesal, 2018

**Tabla 10-2.** Análisis de contenido de metales pesados en el compost maduro.

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO/ TÉCNICA	UNIDAD
1	Cr	EPA 3050-B	mg/kg
2	Cd	EPA 3050-B	mg/kg
3	As	EPA 3050-B	mg/kg
4	Se	MU 689	mg/kg
5	Hg	EPA 3050-B	mg/kg

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: Centrocesal, 2018

**Tabla 11-2.** Análisis de contenido de micro y macro nutrientes el compost maduro.

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO/ TÉCNICA	UNIDAD
1	Fósforo	MU 676	% p/p
2	Calcio	MU 674	% p/p
3	Potasio	MU 679	% p/p
4	Magnesio	MU 674	% p/p
5	Hierro	MU 689	mg/kg
6	Cobre	MU 689	mg/kg
7	Manganeso	MU 689	mg/kg
8	Zinc	MU 689	mg/kg

	Sodio	MU 679	mg/kg
--	-------	--------	-------

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: Centrocesal

#### 2.2.4.3. Análisis realizados en el CESTTA

**Tabla 12-2:** Análisis de contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en el compost maduro.

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO/ TÉCNICA	UNIDAD
1	Carbono Orgánico Total	Oxidación Húmeda/ Walkley & Black	%
2	Nitrógeno Total	Kjeldhal	%

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: CESTTA

**Tabla 13-2:** Caracterización inicial microbiológica de la semilla Takakura

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Parámetro	Unidad	Método
Aerobios Mesófilos	UFC/g	Recuento en placa
Bacterias Totales	UFC/g	Recuento en placa
Mohos y Levaduras	UFC/g	Recuento en placa

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Fuente: CESTTA

#### 2.2.4.4. Análisis realizados en los laboratorios de la ESPOCH

Los análisis que se realizaron en los laboratorios de Calidad de Agua y Biotecnología se encuentran citados en la siguiente tabla, los procedimientos de laboratorio empleados se describen a continuación.

**Tabla 14-2.** Parámetros analizados en laboratorios de la ESPOCH.

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO/ TÉCNICA	UNIDAD
1	Potencial Hidrógeno	Potenciométrico	Unidades
2	Conductividad Eléctrica	Potenciométrico	uS
3	Fosfatos	Colorimétrico	g/100 g de Compost
4	Cloruros	Volumétrico	mg/L

5	Nitratos	Colorimétrico	%
6	Sulfatos	Colorimétrico	mg/L
7	Materia Orgánica	Gravimétrico	%
8	Índice de Germinación	Físico	%
9	Pruebas Hidráulicas	Parámetros físicos	-

*Realizado por: Cabrera Ariel, 2018*

*Fuente: CESTTA*

- *Procedimientos de laboratorio*

Preparación de las muestras

*Materiales de laboratorio*

- Vasos de precipitación de 250 ml.
- Guantes de látex.
- Etiquetas de muestras.
- Recipientes para muestras de orina.
- Espátula.

*Equipos*

- Estufa de secado.
- Cámara fotográfica.

*Reactivos*

- Agua destilada.

*Procedimiento*

Antes de realizar cualquier análisis, primero se realizó la preparación de las muestras a partir de un procedimiento, el cual describo a continuación:

- Primeramente, se realizó la solicitud de pedido de materiales de bodega de la facultad de ciencias químicas de la ESPOCH.

- Después de que ya se contaron con los materiales necesarios, se colocó las diferentes muestras en vasos de precipitación de 250 ml correctamente etiquetados, y se los dispuso dentro de la estufa por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 105 °C.
- Al finalizar las 24 horas, se apagó la estufa y se dejó que se enfríen naturalmente, este proceso llevo cerca de 2 horas.
- Cuando ya se habían enfriado los vasos de precipitación, se colocó las muestras en recipientes de orina ya que son estériles, se los etiquetaron y se guardaron.

## Potencial Hidrógeno

### *Materiales*

- 3 g de muestra seca a 105 °C.
- Tubos falcon de 50ml.
- Guantes de látex.
- Cuaderno de registro de datos

### *Equipos*

- Balanza analítica.
- Agitador rotatorio “SHAIKER”
- pH metro.
- Cámara fotográfica.

### *Reactivos*

- Agua destilada.

### *Procedimiento*

- Inicialmente, se pesó en una balanza analítica 3 gramos de cada muestra, para ello se cortó un pedazo de papel en donde se colocaría la muestra a pesar.
- Luego de que ya se pesó, se colocó la muestra en un tubo falcon etiquetado con el tratamiento de la muestra.
- Posteriormente, se adicionó al tubo falcon 30 ml de agua destilada.

- Después, se colocó el tubo falcon en el agitador rotatorio por un lapso de tiempo de 30 minutos.
- Finalmente, se retiró del agitador rotatorio y se midió directamente en el líquido sobrenadante el pH. El resultado se lo registró en el cuaderno de toma de datos.

Es importante mencionar que se realizó para todas las 80 muestras el mismo procedimiento con la particularidad que se hizo la medición de pH por triplicado.

#### Conductividad Eléctrica

##### *Materiales*

- 3 g de muestra seca a 105 °C.
- Tubos falcon de 50ml.
- Guantes de látex.
- Papel filtro normal.
- Vasos desechables.
- Cuaderno de registro de datos

##### *Equipos*

- Agitador rotatorio “SHAIKER”
- Centrífuga.
- Conductímetro.
- Cámara fotográfica.
- Balanza analítica.

##### *Reactivos*

- Agua destilada.

##### *Procedimiento*

- Inicialmente, se pesó en una balanza analítica 3 gramos de cada muestra, para ello se cortó un pedazo de papel en donde se colocaría la muestra a pesar.

- Luego de que ya se pesó, se colocó la muestra en un tubo falcon etiquetado con el tratamiento de la muestra.
- Posteriormente, se adicionó al tubo falcon 30 ml de agua destilada.
- Después, se colocó el tubo falcon en el agitador rotatorio por un lapso de tiempo de 30 minutos.
- Cuando terminó los 30 minutos, se colocó el tubo falcon en la centrífuga y se lo centrifugó por 4 minutos.
- Después se preparó los materiales necesarios para realizar el filtrado del tubo falcon, para ello se utilizó papel filtro normal.
- El líquido filtrado fue medido por el sensor del equipo de conductimetría.
- Finalmente, el resultado se lo registró en el cuaderno de toma de datos.

## Materia Orgánica

### *Materiales*

- 3 g de muestra seca a 105 °C.
- Crisoles de porcelana de 50 ml.
- Guantes de látex.
- Cuaderno de registro de datos

### *Equipos*

- Mufla
- Desecador
- Balanza analítica

### *Reactivos*

- Agua destilada.

### *Procedimiento*

- Primeramente se etiquetó el crisol con el tratamiento a analizar, continuamente se taró el crisol a 480 °C por un lapso de tiempo de 2 horas.

- Luego de transcurrir las 2 horas, se colocó el crisol en el desecador por 30 minutos.
- Cuando ya se enfrió el crisol, se pesó en la balanza analítica y se registró el peso.
- Posteriormente, se añadió 3 g de muestra al crisol, y se registró su nuevo peso.
- Seguido a esto, se colocó el crisol dentro de la mufla con la ayuda de un guante y una pinza, se dejó el crisol 24 horas a 480 °C.
- Al finalizar las 24 horas, con la ayuda del guante y la pinza se sacó el crisol de la mufla y se dispuso dentro del desecador, aquí se lo dejó por 30 minutos.
- Finalmente, cuando ya se encontraba frío el crisol, se pesó el crisol con la muestra calcinada en la balanza analítica y se registró su valor en el cuaderno de apuntes.

La fórmula para el cálculo de materia orgánica es la siguiente:

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

(Ec. 2-2.)

A continuación se realizará el cálculo de porcentaje de materia orgánica de la muestra inicial correspondiente a Takakura Blanco, para todos los cálculos de materia orgánica del resto de tratamientos se procede de la misma forma. Los datos obtenidos experimentalmente fueron:

Peso crisol vacío= 37.2691 g

Cantidad de muestra seca= 3.0323 g

Peso crisol más muestra calcinada= 37.9310

Para el cálculo de porcentaje de materia orgánica se aplicó la Ec. 2-2

$$\%MO = \frac{(40.3014)-(37.9310)}{(40.3014)-(37.2691)} * 100$$

$$\%MO=78.17$$

### *Iones*

Los iones que fueron analizados en el laboratorio de Calidad del Agua de la facultad de ciencias de la ESPOCH, fueron: cloruros, nitratos, fosfatos y sulfatos.

Cloruros

### *Materiales*

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Pipeta volúmetrica
- Bureta
- Probeta

### *Reactivos*

- Indicador Cromato de potasio
- Nitrato de plata 0,01 N

### *Procedimiento*

- Inicialmente, se diluyó 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada, se agitó la solución para homogenizarla.
- Luego, se dejó la mezcla reposar durante toda la noche.
- Al día siguiente, se filtró la solución, se colocó 20 mL de la solución y se aforo a 100 mL en un balón.
- Posteriormente, se tomó con una pipeta volumétrica 25 mL de la solución en un Erlenmeyer.
- Cuando ya se encontraba la solución en el Erlenmeyer se procedió a colocar 5 gotas del indicador cromato de potasio sobre dicha solución.
- Finalmente, se puso nitrato de plata 0,01 N en la bureta para titular, la titulación se llevó a cabo hasta que exista el viraje de amarillo a rojo ladrillo.

$$Cl^{-} \left( \frac{mg}{L} \right) = X * 14.18$$

(Ec. 3-2.)



**Dónde:**

**X**= resultado de la titulación de la muestra con Nitrato de Plata 0.001N

**14.18**= Cantidad constante para cálculo de cloruros según el método de Mohr

A continuación se realizará el cálculo de cloruros de la muestra número 1 correspondiente a Takakura con lixiviado 4 (TKB4) para todos los cálculos de cloruros del resto de tratamientos se procede de la misma forma, para ello se empleó la ecuación 3-2. Los datos obtenidos experimentalmente fueron:

Cantidad de nitrato de plata gastado en la titulación= 1.65 ml de AgNO<sub>3</sub>

Para el cálculo de contenido de cloruros en la muestra de compost, se aplicó la Ec. 3-2.

$$Cl^{-} \left( \frac{mg}{L} \right) = 1.65 * 14.18$$

$$Cl^{-} \left( \frac{mg}{L} \right) = 23.40$$

Nitratos

*Materiales*

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Probeta
- Cuba

*Equipos*

- Espectrofotómetro

### Reactivos

- Kit para determinación de nitratos

### Procedimiento

- Inicialmente, se diluyó 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada.
- Luego, se agito la solución para homogenizar la mezcla.
- Posteriormente se dejó la mezcla reposar durante toda la noche.
- Al día siguiente, se filtró la solución, para esto se colocó 10 mL de muestra en una cuba y se puso sobre el kit para determinación de nitratos.
- Finalmente se midió la cantidad de nitratos en el espectrofotómetro a 420 nm.

$$NO_3 \left( \frac{mg}{L} \right) = X * 8.33$$

(Ec. 4-2.)

### Dónde:

**X**= resultado dado por el fotómetro DR 2800.

**8.33**= factor de corrección de nitratos

**0.8**= Factor producto de las disoluciones realizadas a la muestra.

A continuación se realizará el cálculo de nitratos de la muestra número 1 correspondiente a Takakura Blanco (TKB) para todos los cálculos de nitratos del resto de tratamientos se procede de la misma forma.. Los datos obtenidos experimentalmente fueron:

X= 1.3 mg/L, resultado dado por el equipo DR 2800.

Para el cálculo de contenido de nitratos en la muestra de compost, se aplicó la Ec. 4-2.

$$NO_3 (\%) = X * 8.33 * 0.8$$

$$NO_3 (\%) = 1.3 * 8.33 * 0.8$$

$$NO_3 (\%) = 8.66\%$$

## Fosfatos

### *Materiales*

- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Probeta
- Cámara Fotográfica

### *Equipos*

- Fotómetro

### *Reactivos*

- Amonio Molibdato
- Cloruro Estannoso

### *Procedimiento*

- Inicialmente, se diluyó 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada, se agito la solución para homogenizarla.
- Luego, se dejó la mezcla reposar durante toda la noche, para lo cual se filtró la solución en un balón de 100 mL.
- Al día siguiente, se colocó en un recipiente plástico 50 mL de muestra, 4 mL de Amonio Molibdato 0.01 N y 0,5 mL Cloruro Estannoso 0.01N (Glicerina).
- Posteriormente, se observó el cambio a color azul, se aforo con la muestra y se midió en el fotómetro a 520 nm.

$$PO_4 = X * 0.8$$

(Ec. 5-2.)

Donde:

**X**= resultado dado por el fotómetro visible 20D

**0.8**= Factor producto de las disoluciones realizadas a la muestra.

A continuación se realizará el cálculo de fosfatos de la muestra número 1 correspondiente a Takakura Blanco (TKB), para todos los cálculos de fosfatos del resto de tratamientos se procede de la misma forma.. Los datos obtenidos experimentalmente fueron:

X= 7.75 mg/L, resultado dado por el equipo DR 2800.

Para el cálculo de contenido de fosfatos en la muestra de compost, se aplicó la Ec. 5-2.

$$PO_4 \left( \frac{g}{100 \text{ g de compost}} \right) = 7.75 * 0.8$$

$$PO_4 \left( \frac{g}{100 \text{ g de compost}} \right) = 6.2$$

Sulfatos

#### *Materiales*

- Guantes
- Mandil
- Cofia
- Varilla de agitación
- Vaso de precipitación de 250 mL
- Papel filtro
- Embudo simple
- Balón de aforo
- Erlenmeyer
- Probeta

#### *Equipos*

- Fotómetro

- Balanza
- Cámara fotográfica

*Reactivos*

- Solución acondicionadora
- Cloruro de Bario

*Procedimiento*

- Se diluyó los 5 gramos de muestra en 100 mL de agua destilada.
- Luego, se agitó la solución para homogenizarla y se dejó reposar durante toda la noche.
- Posteriormente, se filtró la solución, se colocó 10 mL de la solución y se aforó a 100 mL en un balón.
- Seguidamente, en un balón de 100 mL se colocó 2 mL de solución acondicionadora y aproximadamente 1 g de BaCl<sub>2</sub>.
- Finalmente se aforó con la muestra y se midió en el fotómetro a 410 nm.

$$SO_4(\%) = X * 0.8$$

(Ec. 6-2.)

**Dónde:**

**X**= resultado dado por el fotómetro visible 20D

**0.8**= Factor producto de las disoluciones realizadas a la muestra.

A continuación se realizará el cálculo de sulfatos de la muestra número 1 correspondiente a Takakura Blanco (TKB), para todos los cálculos de sulfatos del resto de tratamientos se procede de la misma forma.. Los datos obtenidos experimentalmente fueron:

X= 0.08 mg/L, resultado dado por el equipo 20D

Para el cálculo de contenido de sulfatos en la muestra de compost, se aplicó la Ec. 6-2.

$$SO_4(\%) = 0.08 * 0.8$$

$$SO_4(\%) = 0.064 < 1\%$$

## Índice de Germinación

### *Materiales*

- 10 g de muestra seca a 105 °C.
- Crisoles de porcelana de 50 ml.
- Guantes de látex.
- Cuaderno de registro de datos
- Varilla de agitación
- Frasco Margarita
- Erlenmeyer de 250 mL
- Matraz Buckner
- Papel filtro 0.45 micras
- Pipeta de 10 ml
- Cajas Petri
- Semillas de lechuga.
- Marcador permanente
- Papel aluminio
- Pie de rey.
- Cuaderno de registro de datos

### *Equipos*

- Bomba de succión
- Estufa de incubación
- Refrigeradora

### *Reactivos*

- Agua destilada.
- Alcohol al 50%

### *Procedimiento*

- Primeramente, en la balanza analítica se pesó 10 g de la muestra a ser analizada.
- Luego, se colocó los 10 g en el frasco margarita y posterior a ello se añadió 15 mL de agua destilada
- Se agitó suavemente el frasco y se lo dejó reposar por un lapso de tiempo de 30 minutos.
- Cuando ya transcurrió 30 minutos, se adicionó al frasco 67.5 mL de agua destilada y se movió suavemente el frasco margarita.
- Seguido a ello, se preparó el equipo de filtración, se dispuso sobre el Erlenmeyer de 250 mL un embudo de precipitación con el filtro de 0.45 micras y mediante la ayuda de la bomba de succión se pudo obtener el líquido filtrado para el análisis cualitativo.
- Posteriormente, se colocó papel filtro normal en el interior de las cajas petri, luego se pusieron 8 semillas de lechuga en cada una, seguido de un pipeteo de 5mL de muestra líquida filtrada en el interior de cada placa Petri, obviamente esto se realizó con el debido cuidado para que al colocar el líquido se evite la aglomeración de las semillas en un solo sitio, el objetivo de esto, era inocular de manera que se pueda mojar con la muestra líquida todo el interior de las cajas.
- Después de la inoculación en las cajas Petri, se procedió a cerrarlas y a etiquetarlas según corresponda.
- Con las cajas ya etiquetadas, se continuó el procedimiento envolviéndolas con papel aluminio para evitar que se sequen.
- Luego se precalentó la estufa de incubación por 30 minutos a 27.5 °C.
- Al finalizar los 30 minutos se colocaron las cajas Petri dentro de la estufa de incubación y se las dejó reposar por 48 horas.
- Al trascurrir las 48 horas, se añadió 1 mL de alcohol al 50% para inhibir el crecimiento de las semillas.
- Seguidamente, se colocó las 10 cajas Petri que corresponden a cada tratamiento por muestra experimental, dentro de un refrigerador por un lapso de tiempo de 10 minutos.
- Después de los 10 minutos, se sacó las cajas Petri de la nevera y se empezó a contar las semillas que germinaron.
- Luego de contar las semillas germinadas y regístralas en el cuaderno de apuntes, se abrió caja por caja con el objetivo de retirar las semillas y colocarlas en una hoja de papel para que fueran medidas con el pie de rey la elongación de su raíz.
- Finalmente se registró dichas longitudes de cada caja y cada tratamiento en una hoja de Excel para realizar los respectivos cálculos.
- Los cálculos se realizaron en base a la elongación del blanco utilizado como patrón.

## *Propiedades Físicas del Compost*

### Densidad Aparente

La densidad aparente (DA) se determinó a partir del método propuesto por De Boodt et al., (1974), basado en el cálculo del peso del sustrato contenido en un cilindro de volumen conocido, tras haber sido sometido a una succión de 10 cm de una columna de agua (c.a.). Para ello se emplearon anillas de acero inoxidable de 3 y 4 cm y 82 mm de diámetro, además de tela tipo nylon, más conocido como “Velo de novia”.

### *Materiales*

- Anillas metálicas de 3 cm espesor y 82 mm de diámetro.
- Canecas plásticas perforadas a un costado.
- Velo de novia (Tela Nylon)
- Arena fina.
- Muestras finales de compost.
- Cinta maski para realizar etiquetas.
- Cuaderno de apuntes.
- Espátula de laboratorio.
- Cámara fotográfica.
- Reloj.

### *Equipos*

- Estufa a 105 °C
- Balanza digital

### *Reactivos*

- Agua destilada

### *Procedimiento*



Cuando ya se cuenta con todos los materiales, se procede a iniciar el procedimiento para obtener la densidad aparente,

- Primeramente un extremo de la anilla de 4cm de volumen conocido se cubrió con el velo de novia.
- Seguidamente, se determinó el peso del conjunto conformado por la anilla de acero, ligas elásticas y velo de novia en una balanza con precisión 0.1 g.
- Luego, en el otro extremo se acopló la anilla de 3cm y en el cilindro formado se introdujo la muestra de compost a caracterizar (previamente humedecida), sin apelmazarla ni apretarla hasta 1 mm del borde superior.
- A continuación, se colocó el cilindro en un recipiente plástico, mismo al que se le agregó agua hasta los 0.5 mm del borde superior.
- Posteriormente, se dejó reposar un lapso de 48 horas.
- Transcurrido ese tiempo, se sometió la muestra a una tensión de 10 cm de una columna de agua, para lo cual previamente se colocó el papel filtro sobre la superficie de la arena durante 48 horas.
- Pasadas las 48 horas, se sacó el cilindro del baño de arena y se pesaron las anillas.
- Después, se quitó la anilla superior y se cortó con la ayuda de una espátula el material sobrante de la anilla inferior (4cm) y se pesó el conjunto anilla-sustrato (B).
- Finalmente, se introdujo el conjunto anilla-sustrato en una estufa graduada a 105 °C por un tiempo de 24 horas.

Es importante aclarar que cada determinación se la realizó por triplicado. Con los valores medios de humedad, se estimó la densidad aparente a partir de la siguiente ecuación:

$$DA\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{(B - A)}{V} * \frac{(100 - X)}{100}$$

(Ec. 7-2.)

Donde:

**A:** Peso del conjunto anilla, velo de novia y ligas (g).

**B:** Peso del conjunto anilla- sustrato húmedo (g).

**C:** Peso del conjunto anilla- sustrato seco (g).

**V:** Volumen de la anilla  $cm^3$

**X:** Humedad del sustrato tras haber sido sometido a una succión de 10 cm de una columna de agua, valor que se obtiene a partir de la siguiente ecuación

$$X(\%) = \frac{(B - C)}{B - A} * 100$$

(Ec. 8-2.)

A continuación se determinará la humedad de la muestra número uno correspondiente a TKB y a partir del resultado se calculará el valor de la densidad aparente, para todos los cálculos de humedad y de densidad aparente del resto de tratamientos se procede de la misma forma. Para determinar el valor de la humedad se aplicó la Ec. 8-2, los datos obtenidos experimentalmente fueron:

$$B = 171.469 \text{ g}$$

$$C = 124.217 \text{ g}$$

$$A = 100.2074 \text{ g}$$

$$V = 316.6393 \text{ cm}^3$$

$$X(\%) = \frac{(171.469 - 124.17)}{171.469 - 100.2074} * 100$$

$$X(\%) = 66.37$$

Para el cálculo de la densidad aparente, se aplicó la Ec. 7-2.

$$DA\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{(B - A)}{V} * \frac{(100 - X)}{100}$$

$$DA\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{(171.469 - 100.2074)}{316.6393} * \frac{(100 - 66.37)}{100}$$

$$DA\left(\frac{g}{cm^3}\right) = 0.076$$

Densidad aparente compactada

### *Materiales*

- Sustrato
- Cilindro
- Tamiz

- Controlador de flujo
- Embudo

### *Equipos*

- Balanza digital

### *Procedimiento*

Para la determinación de la densidad aparente compactada se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se llenó un cilindro de ensayo de volumen 1 litro con el sustrato que se encontraba ajustado con un collar de extensión, tamiz fijo/controlador de flujo y embudo.
- Luego, se aplicó una compactación estática, verificando previamente que el material no sea muy comprimible o elástico.
- Finalmente, se pesó el contenido del cilindro

La fórmula para el cálculo de la densidad aparente compactada es:

$$DAC \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{P_C - P_V}{V_C}$$

(Ec. 9-2.)

Donde:

P<sub>c</sub>= peso del conjunto cilindro más muestra de compost presionado.

P<sub>v</sub>= peso cilindro vacío

V<sub>c</sub>= volumen del cilindro

A continuación se determinará mediante cálculo la densidad aparente compactada de la muestra número uno correspondiente a TKB, para todos los cálculos de densidad aparente compactada del resto de tratamientos se procede de la misma forma.

Los datos experimentalmente registrados fueron:

Peso cilindro vacío= 240 g

Peso del conjunto cilindro más muestra de compost presionada= 530 g

Volumen del cilindro= 985.4045 cm<sup>3</sup>

Para el cálculo de la densidad aparente compactada, se aplicó la Ec. 9-2.

$$DAC \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(530 - 240)}{985.4045}$$

$$DAC \left( \frac{mg}{l} \right) = 0.29$$

Espacio poroso total

### *Materiales*

- Calculadora
- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Esfero

### *Procedimiento*

La determinación del espacio poroso total (ETP) fue a partir de los datos obtenidos de densidad real (DR) y densidad aparente (DA), para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$ETP(\%) = \left( 1 - \frac{DA}{DR} \right) * 100$$

(Ec. 10-2.)

A continuación se determinará mediante cálculo el espacio poroso total de la muestra número uno correspondiente a TKB, para todos los cálculos de espacio poroso total del resto de tratamientos se procede de la misma forma.

Para el cálculo del espacio poroso total, primero se determina el valor de la densidad real, para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$DR \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{100}{\frac{MO}{1.45} - \frac{100 - MO}{2.65}}$$

Donde:

MO= porcentaje de materia orgánica.

Los datos experimentalmente obtenidos fueron:

MO = 41.65%

Para el cálculo de la densidad real, se aplicó la Ec. 11-2.

$$DR \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{100}{\frac{MO}{1.45} + \frac{100 - MO}{2.65}}$$

$$DR \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{100}{\frac{41.65}{1.45} + \frac{100 - 41.65}{2.65}}$$

$$DR \left( \frac{g}{cm^3} \right) = 1.97$$

Ya conociendo el valor de la DR, se pudo determinar el valor del espacio poroso total, para lo cual se realizará el cálculo de la misma unidad experimental TKB de la primera muestra.

Para el cálculo espacio poroso total, se aplicó la Ec. 10-2.

$$ETP(\%) = \left( 1 - \frac{DA}{DR} \right) * 100$$

$$ETP(\%) = \left( 1 - \frac{0.076}{1.97} \right) * 100$$

$$ETP(\%) = 96.14$$

Capacidad de retención de agua

*Materiales*

- Calculadora

- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Esfero

*Procedimiento*

La determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) se determinó mediante cálculo y a partir de la siguiente ecuación:

$$CRA \left( \frac{ml \text{ agua}}{l \text{ sustrato}} \right) = \left( \frac{B - C}{V} \right) * 1000$$

(Ec. 12-2.)

Donde:

**V** es el volumen de la anilla de 4 cm utilizada para la determinación de la densidad aparente.

**B** y **C** son los pesos obtenidos para su cálculo.

A continuación se determinará mediante cálculo la capacidad de retención de agua de la muestra número uno correspondiente a TKB, para todos los cálculos de capacidad de retención de agua del resto de tratamientos se procede de la misma forma.

Los datos experimentalmente registrados fueron:

B= 171.469 g

C=124.217 g

V= 316.6393 cm<sup>3</sup>

Para el cálculo de la capacidad de retención de agua, se aplicó la Ec. 12-2.

$$CRA \left( \frac{ml \text{ agua}}{l \text{ sustrato}} \right) = \left( \frac{171.469 - 124.217}{316.6393} \right) * 1000$$

$$CRA \left( \frac{ml \text{ agua}}{l \text{ sustrato}} \right) = 149.228$$

## Capacidad de aireación

### *Materiales*

- Calculadora
- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Esfero

### *Procedimiento*

La determinación de la capacidad de aireación (CA) se determinó calculando el contenido de volumen de aire presente en la muestra, después de haber aplicado una presión hidrostática de menos de 10 cm, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$CA(\%) = EPT - \frac{CRA}{10}$$

(Ec. 13-2.)

Donde:

**CA:** volumen de aire en porcentaje de volumen % (v/v) de muestra húmeda, para una presión hidrostática de menos de 10 cm.

**EPT:** espacio poroso total (%).

**CRA:** capacidad de retención de agua (ml de agua/100 mL sustrato).

A continuación se determinará mediante cálculo la capacidad de aireación de la muestra número uno correspondiente a TKB. Para todos los cálculos de capacidad de aireación del resto de tratamientos se procede de la misma forma.

Los datos que intervienen en el cálculo son:

EPT= 96.14 %

CRA= 149.228 ml agua/ L sustrato

Para el cálculo de la capacidad de aireación, se aplicó la Ec. 13-2.

$$CA(\%) = 96.14 - \frac{149.228}{10}$$

$$CA(\%) = 81.22$$

Contracción de volumen

### *Materiales*

- Calculadora
- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Esfero

### *Procedimiento*

La determinación de la contracción de volumen (C) se calculó a partir de la pérdida de volumen experimentada por el sustrato contenido en la anilla de 4 cm, tras haber sido secado a 105°C en la estufa, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$C(\%) = \left( \frac{V - V_{ss}}{V} \right) * 100$$

(Ec. 14-2.)

Donde:

**V:** Volumen de la anilla utilizada para la determinación de la densidad aparente.

**V<sub>ss</sub>:** Volumen de sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105°C. Éste se calcula a partir de la ecuación del volumen de un cilindro ( $h\pi r^2$ ), donde r y h se obtienen como valor medio de las medidas del diámetro (dos) y de la altura (cuadro) realizadas en el sustrato seco contenido en la anilla.

Para el cálculo de contracción de volumen, primero se determina el volumen del sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105°C, para todos los cálculos de volumen del sustrato del resto de tratamientos se procede de la misma forma, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:



$$V = \pi r^2 h$$

(Ec. 15-2.)

Donde:

V= volumen del sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105°C.

$\pi = 3.1416$

h = altura promedio de las anillas

r = radio promedio de las anillas.

Los datos experimentales tomados fueron:

h (promedio) = 35.175 mm

$\pi = 3.141592$

r = 47.175 mm

Para el cálculo del volumen del sustrato contenido en la anilla, se aplicó la Ec. 15-2.

$$V = 3.141592 * 47.175^2 * 35.175$$

$$V = 245927.846 \text{ mm}^3$$

$$V = 245.928 \text{ cm}^3$$

Ya, con el valor del Volumen, se determinó la cantidad de contracción de volumen de la muestra número uno correspondiente a TKB, para todos los cálculos de contracción de volumen del sustrato del resto de tratamientos se procede de la misma forma

Los datos experimentales registrados fueron:

Volumen de la anilla "V" = 316.6393 cm<sup>3</sup>

Para el cálculo de la contracción de volumen, se aplicó la Ec. 14-2.

$$C(\%) = \left( \frac{316.6393 \text{ cm}^3 - 245.928 \text{ cm}^3}{316.6393 \text{ cm}^3} \right) * 100$$

$$C(\%) = 22.33$$

### **2.2.5. *Análisis Estadístico***

A lo largo del proceso de investigación se tomaron 80 muestras totales, mismas que obedecían a los cambios de temperatura que se iban dando, por cada volteo se tomaba una muestra representativa de cada tratamiento, con los resultados de los análisis de laboratorio de parámetros físico-químicos, químicos y microbiológicos de las muestras, se realizaron las comparaciones entre cada uno de los tratamientos (TKB, TKL1, TKL2, TKL3, TKL4, VCB, VCL1, VCL2, VCL3, VCL4) utilizando ANOVA de un factor y mediante el test de Tukey b.

El test de Tukey b, permitió determinar si los valores medios de los parámetros analizados presentaron niveles de significancia, cada uno de los rangos promedios se denotó con letras minúsculas del abecedario español, el test de tukey se lo realizó bajo un nivel de significancia para  $p < 0.05$  ( $n=5$ )

## CAPITULO III

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Localización de la experimentación

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta de Lombricultura que se encuentra dentro de los predios del relleno sanitario de la ciudad de Sucúa, la planta se encuentra ubicado en las coordenadas 816645.54; 922866.89 UTM, perteneciente a la Provincia de Morona Santiago, Cantón Sucúa, Parroquia Huambi, en este lugar se realizó todo el proceso de compostaje hasta obtener abono orgánico.

#### 3.2. Lugar de Muestreo

El muestreo del proceso de compostaje según fechas establecidas y recomendadas por el Director de tesis se llevó a cabo en la planta de Lombricultura de la ciudad de Sucúa, ubicada en la parroquia Huambi.



Fuente: Google maps, 2017

### 3.3. Caracterización inicial físico-química

Primeramente, se realizó la caracterización físico-química inicial de las sustancias líquidas a utilizar en el proceso de Takakura y Vermicompostaje.

**Tabla 1-3:** Caracterización físico-química.

Material	pH	Conductividad Eléctrica mS/cm
Solución Dulce Inicial	4.06	1.04
Solución Dulce Fermentada	4.28	0.011
Solución Salada Inicial	4.38	8.02
Solución Salada Fermentada	4.25	8.48
Lixiviado	8.93	6.18
Aserrín	5.8	0.11
Semilla Inicial	5.9	0.48
Semilla Fermentada	6.33	0.62
Hojarasca	6.25	1.002
Harina	6.4	0.81
Residuos Orgánicos	7.18	9.22

*Fuente:* Laboratorio de Suelos, 2017

En la tabla 1-3 se describen las principales características de los materiales iniciales utilizados en la elaboración de las camas de compostaje y Vermicompostaje. En la tabla se puede evidenciar que entre los valores del pH y CE hay diferencias significativas. Los residuos líquidos elaborados para formar la semilla Takakura mostraron valores ácidos de pH, esto podría explicarse debido a las reacciones catabólicas de oxidación sin presencia de oxígeno que tienen lugar en la fermentación de las soluciones, así mismo la conductividad eléctrica inicial de los residuos líquidos presenta diferencias significativas, tal es el caso que la CE de la solución salada fermentada aumentó debido a la mayor pérdida osmótica de agua, conjuntamente en la solución salina inicial las biomoléculas que forman compuestos nitrogenados y que son provenientes de los alimentos y residuos, se desdoblaron liberando nitrógeno, esto provocó un aumento el pH de la solución. Igales resultados han sido encontrados por otros investigadores (Gavilanes, 2014, p.40).

Los residuos sólidos tales como: aserrín, hojarasca y harina necesarios para la formación de la semilla Takakura presentaron valores ácidos de pH, mismos que al ser empleados directamente al suelo pueden ocasionar efectos inhibidores de la mayoría de grupos fisiológicos, esto conlleva a que se realice tratamientos de acondicionamiento tales como el compostaje antes de que se los emplee con fines agrícolas, los residuos de lixiviados que fueron utilizados para las dos técnicas de compostaje tanto para el Takakura como para el Vermicompostaje, presentaron un pH y conductividad equivalente a 8.93 y 6.18 mS/cm respectivamente, cantidades que afectan la vida microbiana y a la vez contienen características fitotóxicas por el exceso de salinidad en su

composición, razón por lo cual hace necesario emplear estos lixiviados en tratamientos de compostaje para que se pueda convertir en un producto final que tenga fines agrícolas, similares resultados han sido encontrados por otros investigadores (Brito y Castro: 2003, p.51)

Los residuos orgánicos presentan un valor de pH con tendencia a la neutralidad equivalente a 7.18, sin embargo el valor de su conductividad fue de 9.22, este valor puede estar asociado a la aglomeración de sales solubles existentes en la composición de los residuos orgánicos, generalmente aniones tales como: cloruros, sulfatos y cationes monovalentes como el sodio, similares resultados han sido encontrados por otros investigadores (Gavilanes, 2014, p.12).

Finalmente, la semilla Takakura considerada como un coctel de microorganismos, presentó inicialmente un pH ácido, esto es debido a las propiedades químicas de los elementos que los constituyen, la conductividad de la semilla es irrelevante, puesto que sus valores son bajos, similares resultados han sido encontrados por otros investigadores

**Tabla 2-3:** Caracterización Química de los materiales iniciales (Soluciones líquidas y elementos sólidos).

Tipo de Residuos	MO %	CaCO3 %	C %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn ppm	Fe ppm	Zn ppm	Sólidos g/L
Solución Dulce Inicial (SDI)	-	0.375	-	0.0009	0.0035	0.01	0.0265	1.17	-	-	-	9.5
Solución Dulce Fermentada (SDF)	-	0.585	-	0.00045	0.00095	0.075	0.00017	0.86	-	-	-	14.95
Solución Salada Inicial (SSI)	-	1.95	-	0.00065	0.0013	0.05	0.008	0.79	-	-	-	52.95
Solución Salada Fermentada (SSF)	-	0.365	-	0.00075	0.00355	0.02	0.0700145	0.56	-	-	-	365.65
Lixiviado (L)	-	2.4	-	0.00105	0.0017	0.14	0.03	1.43	-	-	-	0.67
Aserrín (A)	63.65	-	34.4	0.38	0.055	0.0028	12.75	7.975	0.175	1.65	0.035	-
Semilla Inicial (SI)	93.1	-	53.95	0.56	0.35	0.02	0.075	0.325	0.59	6.75	0.215	-
Semilla Fermentada (SF)	61.3	-	35.5	0.49	0.41	0.09	0.11	0.385	0.735	6	0.29	-
Hojarasca (H)	28.3	-	16.35	2.045	1.405	0.02	0.71	0.525	2.67	67.95	0.785	-
Harina (Ha)	38.3	-	22.15	2.045	1.275	0.02	0.145	0.44	0.245	0.65	0.19	-
Residuos Orgánicos (RO)	49	-	28.35	1.315	0.91	0.09	0.09	0.78	0.835	34.15	0.545	-

Fuente: Laboratorio de Suelos, 2017

De acuerdo a la tabla 2-3, se describen las principales características de los materiales iniciales en cuanto a parámetros químicos.

En los residuos de aserrín y lixiviado, la concentración de nutrientes decreció en el siguiente orden: Mg>K>Ca>P>N; en los residuos de solución dulce inicial y solución salada final fue: Mg>Ca>K>P>N; en los residuos de solución dulce final y solución salada inicial la tendencia del decrecimiento fue: Mg>K>P>Ca>N; en los residuos de semilla inicial, semilla final, hojarasca, harina y residuos orgánicos la tendencia fue: N>P>Mg>Ca>K, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Jara, 2014, p.40). De todos los residuos considerados para su estudio los residuos de hojarasca y harina presentan la mayor cantidad de Nitrógeno mientras que los de menor contenido fueron para las soluciones dulce y salada, el mayor contenido de Nitrógeno para la hojarasca y harina podría ser a que poseen gran cantidad de proteínas, (Jara, 2014); los valores con mayor contenido de Fósforo fue para los residuos de Hojarasca, esto podría ser a que es un producto generado por los procesos de descomposición de biomasa de árboles y plantas, mientras que los elementos con menor cantidad de Fósforo fue para las soluciones dulce, salada, lixiviado y aserrín, en el caso de este último por sus características lignino-celulósicas. Similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes, 2014, p.43).

El resultado de la combinación de todas las soluciones líquidas y dulces, además de los elementos sólidos tales como: aserrín, harina y hojarasca, proporcionan a la semilla Takakura que el Nitrógeno (0.47%) se constituya en el principal macronutriente, esto podría ser debido al aporte nutricional en cada elemento que constituye la semilla.

En los residuos de aserrín, harina, hojarasca elementos necesarios para la elaboración de la semilla Takakura y en la propia semilla además de los residuos orgánicos se puede visualizar que el decrecimiento de los micronutrientes presentó la siguiente tendencia: Fe>Mn>Zn, el residuo de hojarasca presentó la mayor cantidad de concentración de Fe, Mn y Zn, mientras que los residuos de aserrín y harina presentaron las concentraciones más bajas de micronutrientes. Similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes, 2014, p.43).

### 3.4. Caracterización inicial Biológica

**Tabla 3-3:** Caracterización microbiológica de la Semilla Takakura

PARAMETROS	METODO NORMA	UNIDAD	RESULTADO
AEROBIOS MESÓFILOS	RECUENTO EN PLACA	UFC/g	15*10 <sup>9</sup>
BACTERIAS TOTALES	RECUENTO EN PLACA	UFC/g	21*10 <sup>12</sup>
Mohos y levaduras	RECUENTO EN PLACA	UFC/g	48*10 <sup>7</sup>

*Fuente:* CESTTA, 2017

La Tabla 3-3, describe la caracterización inicial microbiológica a la semilla Takakura elaborada con los residuos líquidos de las soluciones dulce y salada, además de residuos sólidos tales como: aserrín, hojarasca y harina, en la tabla se puede apreciar que el mayor contenido de unidades formadoras de colonia por gramo tuvieron las bacterias totales, seguidos por la población de aerobios mesófilos y al último se encuentran la población de mohos y levaduras.

Según (Laich, 2011, p. 3), los hongos filamentosos o mohos, y las bacterias mesófilas acidificantes son las poblaciones dominantes en los residuos orgánicos frescos, y se puede estimar su presencia en una cantidad de 10 y 100 millones de células por gramo de material, por lo tanto se puede evidenciar que la cantidad de bacterias totales y mohos que se encuentran en la semilla Takakura está muy por encima de la que Laich, encontró en su investigación, esto se debe al aporte microbiano de cada uno de los elementos formadores de la semilla.

### 3.5. Evolución de la Temperatura a lo largo del proceso de compostaje.



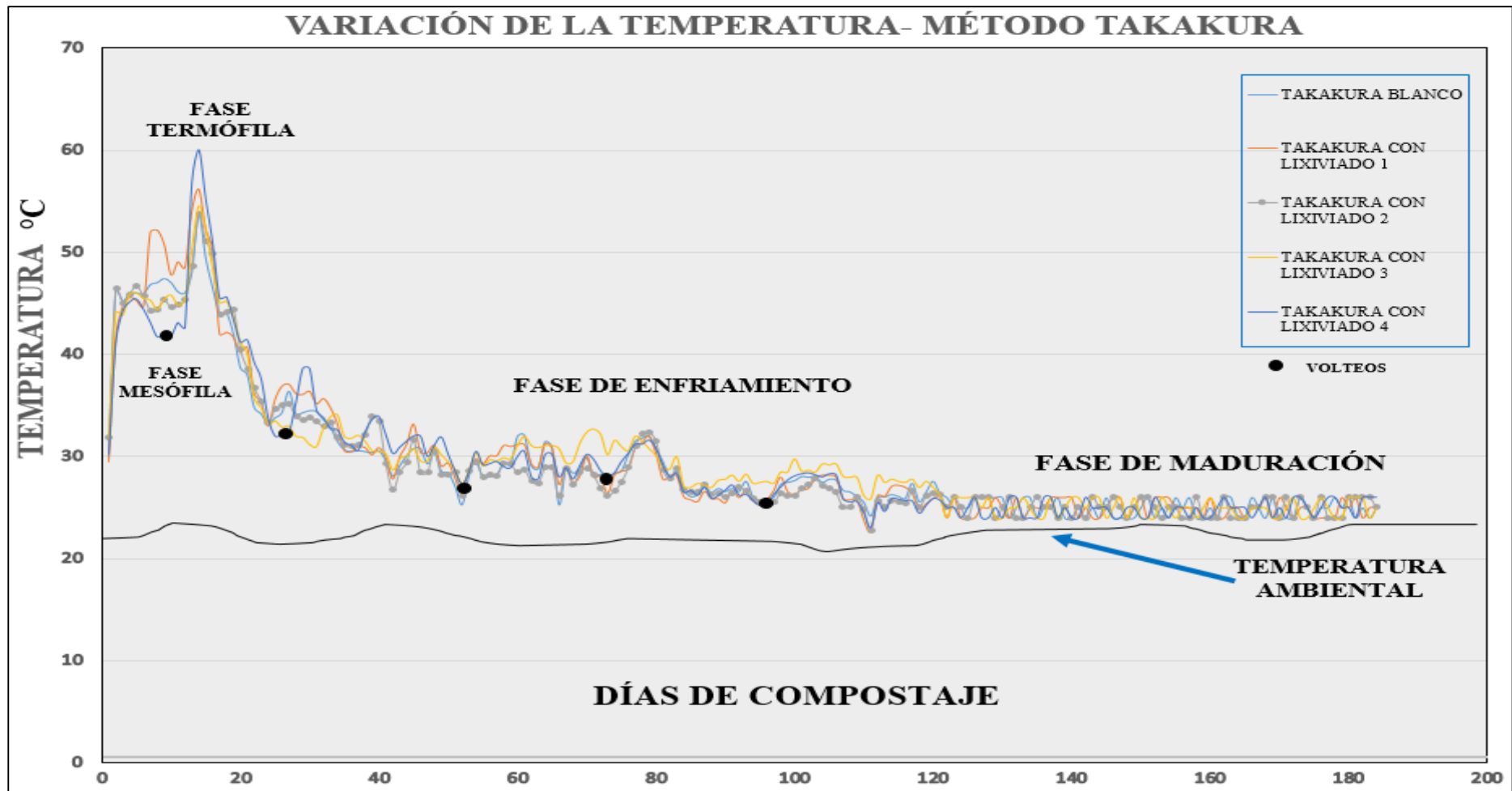


Gráfico 1-3: Evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje por el método Takakura.

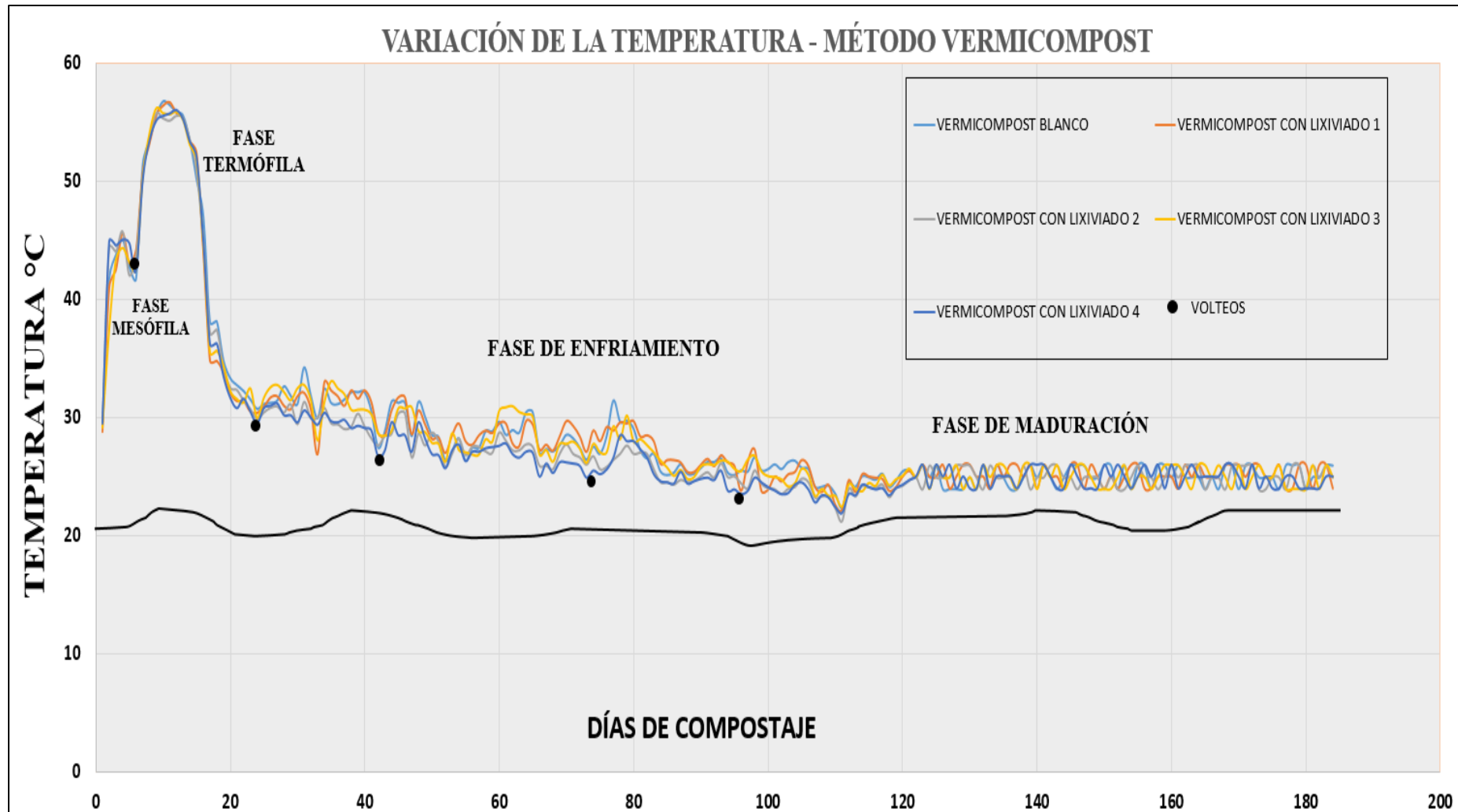


Gráfico 2-3: Evolución de la Temperatura a lo largo del proceso de compostaje por el método Vermicompostaje

En los gráficos 1-3 y 2-3 se registró un acelerado crecimiento de las temperaturas en las camas de compostaje durante los primeros días, debido a la propagación microbiana, alcanzando temperaturas superiores a 40 ° C y manteniendo la fase termófila por un lapso de 17 días para el método Takakura y 14 días para el método Vermicompostaje. Este incremento acelerado de temperatura también fue determinado por otros investigadores (Gavilanes, et al., 2016, p. 129) durante el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos. Los períodos más extensos correspondientes a elevadas temperaturas lo registraron el tratamiento TKB para el método Takakura mientras que el tratamiento VCB para el método Vermicompostaje, esto podría ser debido al contenido de materiales iniciales fácilmente degradables, empleados para la formación de la camas tales como: semilla, aserrín, residuos orgánicos en el caso del método Takakura y solamente residuos orgánicos en el caso del método Vermicompostaje. Después de cada volteo, se observó un incremento significativo de la temperatura en las camas de compostaje, esto como resultado de un proceso que mejora la oxigenación y homogenización de las mezclas. Después de transcurrir 2 semanas y media, desde que las camas de compostaje pasaron a la fase termófila, las temperaturas empezaron a descender hasta alcanzar nuevamente la fase mesófila, es decir de 40 °C hacia abajo, en ambos métodos, la temperatura superó los 55 °C por un lapso de 11 días, lo cual garantiza la destrucción de organismos patógenos (Comision Europea, 2014).

### 3.6. Cuantificación de Lombrices

**Tabla 4-3:** Evolución de la cantidad de Lombrices a lo largo del proceso.

<b>Tratamiento</b>	<b>Conteo Inicial ABRIL</b>	<b>Primer Conteo JUNIO</b>	<b>Segundo Conteo JULIO</b>	<b>Tercer Conteo Extracción de Lombrices AGOSTO</b>
VCB	100	220	390	350
VCL1	100	230	455	453
VCL2	100	242	598	585
VCL3	100	230	655	640
VCL4	100	240	650	635

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

La tabla 4-3, se refiere a la cuantificación realizada de lombrices californianas a lo largo del proceso de Vermicompostaje, se puede observar que la cantidad de lombrices va creciendo a medida que pasa el tiempo, esto podría haber sucedido debido a que cada tratamiento reunía las condiciones óptimas para su reproducción (pH, humedad, temperatura, oxígeno), no obstante, en el último conteo realizado al inicio de la fase de maduración se pudo observar que la cantidad de lombrices disminuyó, esto podría haber ocurrido debido a que las lombrices ya transformaron todo el material biodegradable en humus y ya no existía más fuentes alimenticias, el tratamiento

que mayor número de lombrices tuvo fue el VCL3 mientras que el VCB fue el que menor cantidad tuvo, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Camilletti , 2014, p.26).

### 3.7. Evolución de parámetros a lo largo del proceso de compostaje

**Tabla 5-3:** Evolución de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos a lo largo del proceso de compostaje- Método Takakura.

Tratamiento	Días	pH	CE mS/cm	MO %	CIC meq/100	IG %
TKB	0	7,94	0,84	78,17	40,94	0
	13	8,44	0,93	71,08	42,28	2
	30	8,93	3,63	70,68	34,43	6
	44	8,06	2,82	70,34	59,94	10
	75	8	3,01	64,68	42,71	16
	96	7,83	2,9	60,17	35,85	18
	122	7,7	3,2	55,94	47,64	56
	Maduro	7,83	2,97	41,65	43,04	69
TKL1	0	8,31	0,94	72,35	38,91	0
	13	8,64	0,93	72,08	39,27	1
	30	8,4	2,32	63,93	50,37	4
	44	8,22	2,69	62,85	38,73	13
	75	8,21	2,73	60,86	47,19	16
	96	7,72	2,93	59,52	45,41	38
	122	7,75	3,24	57,24	39,51	62
	Maduro	7,99	2,64	52,71	53,67	70
TKL2	0	8,17	1,2	73,56	44,88	0
	13	8,82	0,61	69,53	38,97	3
	30	8,23	2,44	68,42	49,97	8
	44	7,91	3,05	64,99	45,59	10
	75	8,19	2,6	61,00	41,84	15
	96	8,23	2,05	60,08	43,51	25
	122	7,82	2,99	55,59	44,32	54
	Maduro	7,92	2,84	49,10	44,5	70
TKL3	0	7,96	1,04	82,21	39,75	0
	13	8,78	0,67	74,54	41,09	3
	30	8,74	3,22	74,54	36,27	6
	44	8,1	2,69	67,05	47,17	8
	75	8,22	2,49	64,37	44,01	16
	96	7,77	3	61,63	41,5	47
	122	7,64	3,38	57,52	44,61	59
	Maduro	7,91	2,34	41,26	54,3	71
TKL4	0	8,41	0,78	67,9	40,78	0
	13	8,58	1,32	61,43	40,75	3
	30	8,78	2,36	57,63	41,97	5
	44	8,16	3,1	57,05	39,18	11
	75	8,4	2,59	55,31	38,13	16
	96	8,31	2,3	51,39	35,54	43
	122	8,01	2,82	49,1	37,36	56
	Maduro	8,11	2,96	48,69	40,3	70

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

En cada tratamiento del método Takakura, las concentraciones iniciales de la MO presentan un decrecimiento a medida que transcurren los días, tal es el caso que el tratamiento TKL3 presenta la mayor mineralización de la MO, reduciéndose de 82.21% a 41.26% en el compost maduro, en

el resto de tratamientos también se puede observar una declinación en porcentajes de contenido de MO, esto se debe seguramente a que en la fase biooxidativa del proceso se dieron las principales pérdidas de MO. Además todas las concentraciones en el compost maduro de cada tratamiento se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas European Guidelines ( $\%MO > 15$ ) y Ecological criteria to soil improvers ( $\%MO > 20$ ), esto indica la estabilidad del producto final, similares resultados fueron reportados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p.130).

Los valores de pH de cada uno de los tratamientos inicialmente presentaron una tendencia a aumentar, esto como resultado de la degradación de elementos ácidos que en presencia de excesiva humedad dan origen a la formación de hidróxidos básicos, al final del proceso de compostaje todos los tratamientos presentaron concentraciones de pH por encima de los rangos (6-7.5) establecidos por la normativa Estadounidense US guidelines en cuanto a concentraciones recomendadas para actividades agrícolas. El tratamiento que presentó al final el menor contenido de pH fue el TKL3, iniciando en 7.96, aumentando hasta 8.78 para finalmente estabilizarse en 7.91, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p.130).

Los valores de CE de cada uno de los tratamientos presentaron tendencias a aumentar y disminuir conforme transcurría el proceso de compostaje, la CE, representa el nivel de salinidad del compost, a medida que se produce la degradación de la materia orgánica, la CE tiende a aumentar, producto de la acumulación de iones como consecuencia de la reducción de masa de las camas, tal es el caso que en los tratamientos TKL2 y TKL3 se inició con una concentración de CE alta 1.2 y 1.04 y al final del proceso quedó determinada en 2.84 y 2.34 mS/cm, este decrecimiento podría haberse ocasionado debido a la adición de lixiviado y agua al momento de humedecer las camas. Además todas las concentraciones en el compost maduro de cada tratamiento se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa Estadounidense US guidelines ( $CE < 5$  mS/cm), similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p.130).

Las concentraciones de CIC en cada tratamiento de las camas de compostaje, están relacionadas indirectamente con la MO, es decir, mientras la MO disminuye producto de la mineralización, la CIC empieza a aumentar su concentración, tal es el caso que a lo largo del proceso de compostaje el tratamiento que mayor cantidad de CIC presentó fue el TKL3, mismo que inició con una cantidad de 39.75 y terminó en 54.3 meq/100, la CIC es un parámetro que mejora las propiedades físicas del suelo además indica que el compost está maduro siempre y cuando tenga concentraciones superiores a 60 meq/100 (Jiménez, 2015, p.24), los resultados de los valores del CIC

indican que todos los tratamientos se encuentran por debajo de este valor patrón, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Camilleti, 2014, p.49)

Los porcentajes del índice de germinación obtenidos en el desarrollo del proceso de compostaje son diferentes entre cada tratamiento, el porcentaje del IG tiende a subir, esto podría ser, debido a que inicialmente las camas contenían concentraciones no apropiadas de salinidad y polifenoles solubles, mismos que contienen características fitotóxicas para la germinación de las semillas, el valor significativo para este parámetro lo tiene el TKL3, en dónde se obtuvo el mayor índice de germinación (IG=71%), así mismo existen tratamientos como: TKL4, TKL2, TKL1 y TKB que superan los límites establecidos por (Zucconi, et al., 1981, p.) (IG>50 %), esta determinación permitió establecer que el compost realizado es un producto maduro, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p.131).

En base a la evolución de los parámetros anteriormente descritos, se puede concluir en términos generales que el mejor tratamiento de la técnica Takakura corresponde al TKL3.

**Tabla 6-3:** Evolución de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos a lo largo del proceso de compostaje-Método Vermicompostaje.

Tratamiento	Días	pH	CE mS/cm	MO %	CIC meq/100	IG %
VCB	0	8,41	2,95	71,35	28,06	0
	13	7,44	4,57	40,42	31,57	0
	30	8,25	1,48	40,3	42,18	4
	44	8,46	3,25	37,41	33,76	9
	75	8,79	3,01	36,2	20,38	15
	96	8,65	3,03	36,09	40,05	51
	122	8,17	3,53	34,71	40,96	59
	Maduro	8,51	2,96	33,22	34,96	69
VCL1	0	8,82	3,01	72,63	32,94	0
	13	8,63	2,64	40,46	29,91	3
	30	8,29	2,55	36,49	32,58	8
	44	8,55	2,98	34,72	32,81	8
	75	8,61	3,03	34,66	24,39	15
	96	8,41	3,31	34,13	30	37
	122	8,36	3,56	33,58	37	61
	Maduro	8,37	3,21	32,61	30,2	71
VCL2	0	8,82	2,17	43,21	26,72	0
	13	8,8	3,03	42,78	36,2	3
	30	8,93	2,85	39,74	33,77	4
	44	8,72	3,65	36,56	32,57	12
	75	8,61	3,3	36,3	27,35	15
	96	7,9	3,45	35,04	35,64	18
	122	8,65	3,16	32,22	38,05	56
	Maduro	8,42	3,11	32,18	27,41	69
VCL3	0	8,9	1,95	44,82	29,65	0
	13	8,82	1,37	44,26	32,8	2
	30	8,68	3,52	43,2	51,35	4
	44	8,72	3,57	39,45	44,82	9
	75	8,81	2,79	36,98	28,56	14
	96	8,73	2,94	35,27	25,57	17

	122	8,56	3,25	34,66	32,47	64
	maduro	8,8	3,02	32,49	34,06	70
VCL4	0	9,32	2,66	48,89	29,67	0
	13	8,77	1,25	47	36,48	1
	30	9,3	3,2	41,48	30,73	7
	44	8,92	2,09	37,83	33,81	9
	75	8,91	3,1	37,42	23,82	16
	96	8,85	3,17	35,86	36,06	42
	122	8,5	3,05	34,33	43,86	62
	184	8,88	2,91	30,14	31,5	69

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

De acuerdo a los resultados de la tabla 6-3 se mencionarán las principales características, en lo que respecta al pH, se pudo observar que inicialmente todos los tratamientos del Vermicompostaje sufren un crecimiento en la concentración del pH, alcanzando valores alcalinos, esto se debe seguramente a la biodegradación de componentes ácidos, tales que en presencia de excesiva humedad y condiciones ambientales aeróbicas, generan grupos hidróxidos en las primeras fases del compostaje, al final del proceso, todos los tratamientos mostraron valores finales superiores a 8, mismos que se encuentran por encima de los límites establecidos (6-7.5) recomendados como óptimos para el uso agrícola del compost de acuerdo a la norma del consejo Estadounidense US guidelines, el tratamiento que presentó al final menor concentración de pH fue VCL1, iniciando en 8.82 y estabilizándose en 8.37, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p. 132).

En lo que concierne a la evolución de la CE, en el proceso de compostaje, se observó que en todos los tratamientos desde los primeros días, la concentración de CE fue aumentando, esto podría haberse ocasionado por la mineralización de la materia orgánica, tal es el caso que el tratamiento VCL1 es la unidad experimental más significativa en cuanto al crecimiento de CE, inició en una concentración de 3.01 ms/cm y terminó en 3.21; de acuerdo a la normativa Estado Unidense US guidelines (CE<5 mS/cm), todos los valores de los materiales finales de cada tratamiento se encuentran sobre los rangos establecidos, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p. 132).

En cada tratamiento del método Takakura, las concentraciones iniciales de la MO presentan un decrecimiento a medida que transcurren los días, tal es el caso que el tratamiento TKL3 presenta la mayor mineralización de la MO, reduciéndose de 82.21% a 41.26% en el compost maduro, en el resto de tratamientos también se puede observar una declinación en porcentajes de contenido de MO, ésto se debe seguramente a que en la fase biooxidativa del proceso se dieron las principales pérdidas de MO. Además todas las concentraciones en el compost maduro de cada tratamiento se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas European Guidelines

(%MO>15) y Ecological criteria to soil improvers (%MO>20), esto indica la estabilidad del producto final, similares resultados fueron reportados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p. 130).

Las concentraciones de CIC en cada tratamiento de las camas de Vermicompostaje, están relacionadas indirectamente con el decrecimiento del porcentaje de MO, es decir a medida que transcurre el proceso de compostaje la cantidad de MO empieza a disminuir producto de la mineralización, mientras que la concentración del CIC aumenta, tal es el caso que las mayores evoluciones de cantidades del CIC presentaron los tratamientos VCB y VCL3 en cantidades de 28.06 y 29.65 meq/100 a 34.96 y 34.06 meq/100 respectivamente, el CIC es un parámetro muy importante del proceso de compostaje, debido que mejora las propiedades físicas del suelo e indica la madurez del compost siempre y cuando tenga concentraciones superiores a 60 meq/100 (Jiménez, 2015, p. 24), los resultados obtenidos al final del proceso de compostaje de cada tratamiento se encuentra debajo del rango establecido, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Camilletti, 2014, p.49).

Los porcentajes del índice de germinación obtenidos en el desarrollo del proceso de compostaje son diferentes entre cada tratamiento, el porcentaje del IG tiende a subir, debido a que inicialmente las camas de compostaje presentaban concentraciones inadecuadas de salinidad, lo cual hace que el compost presente características fitotóxicas y que impida la germinación de las semillas, no obstante a medida que transcurre el proceso, ciertas características tóxicas van desapareciendo como consecuencia de la madurez del compost, el mayor porcentaje del IG fue para el tratamiento VCL1, en donde se obtuvo el mayor IG equivalente a 71, de la misma forma los tratamientos VCB, VCL2, VCL3 Y VCL4 presentaron IG que superen los límites establecidos por (Zucconi, et al., 1981, p. ) (IG>50 %), esta determinación permitió establecer que el compost realizado es un producto maduro, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p.131).

En base a la evolución de los parámetros anteriormente descritos, se puede concluir en términos generales que el mejor tratamiento de la técnica Vermicompostaje corresponde al VCB.



### 3.8. Resumen estadístico de los tratamientos realizados en la investigación.

**Tabla 7-3:** Características físico-químicas y químicas de los tratamientos experimentales.

Trat.	MO %		pH -		CE mS/cm		Cl <sup>-</sup> mg/L		SO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> %		PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> g/100 g compost		CIC meq/100g Compost	
TKB	64,09	b	8,09	a	2,54	ab	23,22	ab	0,04	a	8,97	ab	5,75	a	43,35	b
TKL1	62,69	b	8,15	a	2,30	a	30,67	b	0,16	a	8,68	ab	5,38	a	44,13	B
TKL2	62,78	b	8,16	a	2,22	a	17,91	a	0,03	a	7,47	ab	6,47	a	44,20	B
TKL3	65,39	b	8,14	a	2,35	a	25,70	ab	0,04	a	4,05	a	5,70	a	43,59	B
TKL4	56,06	b	8,34	ab	2,28	a	29,60	b	0,07	a	11,94	ab	5,95	a	39,25	A b
VCB	41,21	a	8,33	ab	3,10	b	24,82	ab	0,48	a	26,58	e	5,61	a	34,01	A
VCL1	39,91	a	8,51	bc	3,04	b	27,12	ab	0,38	a	27,33	e	6,15	a	31,23	A
VCL2	37,25	a	8,61	cd	3,09	b	25,88	ab	0,32	a	25,86	cd	6,23	a	32,21	A
VCL3	38,89	a	8,75	de	2,80	ab	29,96	b	0,66	a	15,96	bc	6,43	a	34,91	A
VCL4	39,12	a	8,93	e	2,68	ab	31,55	b	0,84	a	24,92	cd	7,20	a	33,24	A
ANOVA	***		***		***		**		NS		***		NS		***	

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

De acuerdo a la tabla 7-3, se pudieron obtener las siguientes discusiones:

-Se puede observar que en el porcentaje de materia orgánica existen diferencias significativas entre los métodos de Takakura y Vermicompostaje, tal es el caso, que en las unidades experimentales que pertenecen a Vermicompostaje, el porcentaje de materia orgánica tiende a ser menor, siendo el tratamiento VCL2, aquel que presenta el contenido más bajo de materia orgánica y el tratamiento TKB, aquel que presentó el mayor contenido de materia orgánica. La materia orgánica presenta una tendencia a disminuir producto de la mineralización de la materia a compostar así como también por la reducción del carbono en forma de anhídrido carbónico, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Camiletti Morales, 2016, p.39).

Según la (Comisión Europea, 2014, p. 138) y la (FAO, 2013, p. 31), mencionan que el compost maduro y estable debe tener un porcentaje mayor al 20 %, siendo el porcentaje óptimo el 50% citado por la (EPA, 2001, p. 68), las camas tanto del método Takakura como Vermicompostaje se encuentran en un rango entre 37 y 64 % aproximadamente, por lo tanto el contenido de materia orgánica de la mayoría de tratamientos se encuentran dentro de los límites establecidos por las normativas citadas.

-El pH que se obtuvo en cada unidad experimental de la investigación es generalmente básico, el menor valor de pH presentó el tratamiento TKB equivalente a 8.09 y que corresponde al método

Takakura, mientras que la unidad experimental VCL4 perteneciente a Vermicompostaje obtuvo el mayor valor equivalente a 8.93, además, se pudo observar que a mayor cantidad de lixiviado inoculado en cada una de las camas se da la tendencia a que el pH aumente., esto podría deberse a la pérdida de compuestos tipo ácidos orgánicos y su consecuente producción de amoníaco como resultados de la degradación de las proteínas (Moral, 2008, p.98) , similares resultados fueron encontrados por (Camiletti Morales, 2016).

-Según la (EPA, 2001, p.61) los límites establecidos de pH para un compost maduro es de 6 a 7.5, generalmente los resultados obtenidos se refieren a pH alcalinos, lo cual se encuentran fuera de norma, no obstante (Moral, 2008, p. 99), manifiesta que si el pH se encuentra por un rango sobre 7.5, el producto final obtenido tuvo una adecuada descomposición.

- Los valores de la conductividad eléctrica de los tratamientos mediante el método Takakura son menores en comparación con los del Vermicompostaje, siendo las unidades experimentales VCB, VCL1 y VCL2 aquellos que cuentan con valores de conductividad más altos 3.10; 3.04 y 3.09 mS/cm respectivamente. Principalmente, la conductividad eléctrica disminuye debido a la mineralización de la materia orgánica o a su vez por los lavados de sales, ocasionados cuando se realizan humectaciones a las camas de compostaje (Camiletti, 2014, p.38).

Según la (EPA, 2001, p.68), los límites establecidos para conductividad eléctrica que un compost debe tener es de menor o igual 5 mS/cm, las camas de compostaje pertenecientes a los métodos de Vermicompostaje y Takakura presentaron concentraciones de conductividad eléctrica entre 2.22 y 3.1 mS/cm, mismos que se encuentran dentro de la normativa vigente, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes et al., 2016, p.130).

-En cuanto a los aniones Sulfatos y Fosfatos, tanto para los tratamientos de Takakura y de Vermicompostaje, no existe diferencias significativas, en el caso de sulfatos el tratamiento que presenta la mayor cantidad equivalente a 0.84 es el VCL4, mientras que el de menor cantidad lo registra el TKL2 con una cantidad equivalente a 0.03; en lo que respecta a los fosfatos, el tratamiento que presenta mayor cantidad es el VCL4 con una cantidad equivalente a 7.20 mientras que el de menor cantidad corresponde a TKL1 con una cantidad igual a 5.38; para ambos casos se puede diferenciar que el contenido de Sulfatos y Fosfatos es mayor para las unidades experimentales por la técnica Vermicompostaje, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Jara, 2014, p.37).

-En lo que respecta a cloruros, existen diferencias significativas entre los métodos de tratamientos de Takakura y Vermicompostaje, siendo los del Vermicompostaje aquellos que presentan

mayores cantidades que los del Takakura, la unidad experimental de mayor contenido de cloruros corresponde a VCL4 y la de menor cantidad a TKL2. Además en los tratamientos de Vermicompostaje se puede observar que se da una tendencia a aumentar en relación al contenido de cloruros, es decir a mayor adición de lixiviado mayor cantidad de cloruros, cabe mencionar que los cloruros en pequeñas cantidades cumplen funciones importantes dentro de las plantas, tales como: la regulación estomática, permitiendo la entrada y salida de las células guardas ( Rodríguez, 2010, p. 30), similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Jara, 2014, p.38).

- En lo que concierne a Nitratos, se puede apreciar que existe diferencias significativas entre los métodos de tratamiento, tal es el caso que las unidades experimentales que pertenecen al método Vermicompostaje presentan valores superiores a los del método Takakura, además se puede visualizar que para los dos métodos, el contenido de nitratos presenta una tendencia de decrecimiento, pudiendo concluir que a mayor cantidad de lixiviado menor cantidad de contenido de Nitratos, es importante mencionar que los nitratos contenidos en el abono obtenido, son empleados por las plantas y demás especies vegetales para incrementar su potencial osmótico y definir una diferencia de potencial hídrico con respecto al suelo, similares resultados han sido encontrados por otros investigadores (Vega, 1997, p. 456).

- En lo que respecta a la capacidad de intercambio catiónico, se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los tratamientos del Takakura y del Vermicompostaje, las unidades experimentales del Takakura presentan valores superiores a los del Vermicompostaje. La capacidad de intercambio catiónico es un parámetro muy importante ya que indica la madurez del compost, según (Camiletti, 2014, p. 49) y (Soto y Meléndez, 2003: p. 8 ) para valores superiores a 60 meq/100 g sustrato, se dice que el compost ha tenido un buen período de maduración, considerándose un producto maduro y estable, esta tendencia de aumentar que tiene la capacidad de intercambio catiónico a incrementar es debido a la capacidad de adsorción físico química de los cationes a lo largo del proceso de humificación que tiene el compost, en base a estas investigaciones, se puede manifestar que tanto las camas que pertenecen al Takakura como al Vermicompostaje no han alcanzado totalmente el estado de maduración, similares resultados han sido encontrados por otros investigadores (Meléndez y Soto, 2003, p.8)

### 3.9. Propiedades físicas del compost

**Tabla 8-3:** Características físicas del compost

TRATAMIENTO	DA g/cm <sup>3</sup>		DR g/cm <sup>3</sup>		EPT %		CRA (g H <sub>2</sub> O/ g sustrato)		C (%)		CA (%)		DAC g/cm <sup>3</sup>	
TKB	0,079	a	1,98	b	96,02	a	144,28	a	19,20	a	81,59	a	0,492	c
TKL1	0,073	a	1,85	a	96,04	a	152,05	a	10,06	a	80,84	a	0,624	e
TKL2	0,088	a	1,89	a	95,36	a	140,28	a	11,60	a	81,34	a	0,553	cd
TKL3	0,102	a	1,99	b	94,86	a	126,09	a	12,22	a	82,25	a	0,502	cd
TKL4	0,083	a	1,89	a	95,59	a	146,93	a	12,69	a	80,90	a	0,558	d
VCB	0,116	a	2,07	c	94,41	a	113,99	a	25,19	b	83,01	a	0,289	a
VCL1	0,088	a	2,08	c	95,77	a	146,49	a	21,65	b	81,12	a	0,325	ab
VCL2	0,078	a	2,10	c	96,28	a	149,63	a	22,34	b	81,31	a	0,310	ab
VCL3	0,076	a	2,08	c	96,33	a	148,34	a	20,31	b	81,50	a	0,304	a
VCL4	0,079	a	2,08	c	96,22	a	151,54	a	26,99	b	81,07	a	0,370	b
<b>TURBA RUBIA</b>	<b>0.2</b>		<b>1.35</b>		<b>&gt; 94.30</b>		<b>10.49</b>		<b>5.70</b>		<b>29</b>		<b>-</b>	
<b>ANOVA</b>	<b>NS</b>		<b>***</b>		<b>NS</b>		<b>NS</b>		<b>*</b>		<b>NS</b>		<b>***</b>	

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

Donde:

DA= Densidad aparente.

DR= Densidad real.

C= Contracción de Volumen

EPT= Espacio poroso total.

CRA= Capacidad de retención de agua

CA= Capacidad de aireación

DAC= Densidad aparente compactada.

De acuerdo a la tabla 8-3, se describen las principales características hídricas y físicas del compost, además los resultados fueron comparados con los valores de parámetros estándar de la turba rubia, misma que es un material orgánico rico en carbono, muy utilizado en cultivos agrícolas.

- En lo que respecta a DA, EPT, CRA y CA no existen diferencias significativas, todos los valores se encuentran dentro del mismo grupo, no obstante al compararlos con los valores estándar de la turba rubia se pudo observar que sólo en los parámetro DA y EPT, todos los tratamientos se encuentran dentro del rango permitido, mientras que en parámetros como CRA y CA los tratamientos se encuentran fuera del valor estándar, esto podría deberse a que el tamaño de la granulometría en algunas de las muestras finales no fue de 2mm, considerado como óptimo según (López et al., 2015, p. 147), que además menciona que el ETP, DA, CA y CRA están determinados por el tamaño del grano final de compost, de la misma forma el grado de mineralización de la materia orgánica establece el tamaño de las partículas del abono, similares resultados fueron encontrados por (López et al., 2015, p. 147).

-En cuánto a densidad real, se evidenció que existen diferencias significativas entre los tratamientos que pertenecen a Takakura y Vermicompostaje, de la misma forma se observó que entre las camas de compostaje del método Vermicompostaje no existen diferencias significativas mientras que entre las camas del método Takakura si existe diferencias significativas, los valores de densidad real oscilan entre 1.85-2.10 g/cm<sup>3</sup>, el tratamiento que presentó mayor cantidad de densidad real fue la cama VCL2, mientras que el tratamiento que menor cantidad de densidad real presentó fue la cama TKL1; según (FAO, 2013, p. 33), la densidad real de un compost maduro debe ser (DR < 700 g/cm<sup>3</sup>), mientras que la turba rubia manifiesta que (DR < 1.35 g/cm<sup>3</sup>), todos los tratamientos presentaron una densidad real ligeramente superior a los rangos establecidos por la turba Rubia, esto podría estar relacionado con el tamaño de las partículas que constituyen el compost final (FAO, 2013, p. 30), es decir mientras más fino son los granos de compost, la densidad real aumenta, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (López et al., 2015, p. 147).

- En cuanto a Contracción de volumen, se evidenció que entre los tratamientos existen diferencias significativas, las camas del método Vermicompostaje presentan valores mayores de contracción de volumen que los del método Takakura, los valores de contracción de volumen oscilan en un rango de 10.06 – 26.99 %, siendo el tratamiento de la cama VCL4 aquel que presenta el mayor valor de contracción de volumen, mientras que el tratamiento de la cama TKL1 presentó el menor valor. Según (Baltazar et al., 2013, p. 4), la contracción de volumen para un compost maduro oscila

entre 11 y 21 %, además manifestó que todos los parámetros físicos del abono orgánicos están estrechamente ligados a la granulometría del producto final, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Robles et al., 2013, p. 3). De acuerdo al valor de contracción de volumen de la turba (Cuenca Romero y Dolz Latur: pp. 20-29) todos los valores de las camas se encuentran fuera de norma.

### 3.10. Relación Carbono- Nitrógeno

**Tabla 9-3:** Relación Carbono- Nitrógeno de materiales iniciales y productos finales.

<b>Materiales Iniciales</b>		<b>Producto Final</b>	
<b>Residuo</b>	<b>Relación C/N</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>Aserrín fino</b>	90.53	<b>TKB</b>	17.54
		<b>TKL1</b>	15.24
<b>Hojarasca</b>	7.99	<b>TKL2</b>	15.35
		<b>TKL3</b>	14.3
<b>Harina</b>	10.83	<b>TKL4</b>	16.8
		<b>VCB</b>	16.25
<b>Residuos Orgánicos</b>	21.55	<b>VCL1</b>	16.23
		<b>VCL2</b>	18.22
<b>Semilla Takakura</b>	95.16	<b>VCL3</b>	17.90
		<b>VCL4</b>	17.85

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

En la tabla 6-3, se puede apreciar las distintas relaciones carbono-nitrógeno que presentaron los tratamientos finales de las técnicas Takakura y Vermicompostaje, además se pudo observar que el porcentaje carbono nitrógeno de los tratamientos oscilan en un rango de 14.3 – 18.22 siendo el tratamiento de la cama TKL3 aquel que presentó la menor relación carbono-nitrógeno, mientras que el tratamiento de la cama VCL2 presentó la mayor relación, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Camilletti, 2014, p. 39).

Los requisitos mínimos de la relación carbono-nitrógeno exigidos para considerar al compost como un producto estable es que sea  $< 20$  (Real Decreto 506, 2013, p. xx), todos los resultados obtenidos de los tratamientos se encuentran dentro de norma, lo cual indica que se dio una correcta

mineralización de la materia orgánica, estos resultados coinciden aproximadamente con los reportes de otros investigadores (López et al., 2014, p. 149).

### 3.11. Concentraciones de micro y macronutrientes en el compost maduro

**Tabla 10-3:** Contenido de micro y macronutrientes

TRATAMIENTO	N g/kg	P g/kg	K g/kg	Na g/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg
TKB	16,30	2.1	8.86	0.74	1800	500	248.88	1.60	44.29	19.56
TKL1	17,90	2.1	11.16	1.04	1800	600	291.23	2.45	56.01	22.65
TKL2	18,80	2.4	10.38	1.17	1900	900	254.56	2.33	50.01	24.22
TKL3	15,10	2.0	9.91	1.27	1800	700	303.75	2.31	42.60	24.56
TKL4	16,80	2.3	9.88	1.19	1700	500	350.57	2.93	72.20	26.42
VCB	16,50	3.6	11.31	1.92	1700	700	456.00	8.83	88.11	71.25
VCL1	16,10	3.2	9.77	1.49	2300	900	364.68	6.60	80.40	62.30
VCL2	15,00	3.4	9.75	1.44	1300	500	451.57	9.07	91.40	123.88
VCL3	15,70	3.9	9.99	1.46	1500	200	554.48	9.31	112.22	86.53
VCL4	14,80	2.4	10.93	1.62	1300	500	316.40	6.11	65.54	56.06

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

De acuerdo a la tabla 10-3, se pueden mencionar las principales características en cuanto al contenido de macro y micronutrientes.

En relación a los macronutrientes, la concentración de Fósforo en todos los tratamientos osciló en un rango de 2 – 3.9 g/kg, la cama que mayor contenido de fósforo presentó, fue el tratamiento VCL3, mientras que el de menor concentración fue el TKL3; así mismo se evidenció que la concentración de Nitrógeno en todos los tratamientos fluctuó en un rango de 14.80 – 18.80 g/kg, la cama que mayor contenido de nitrógeno presentó fue el tratamiento TKL2 y el de menor concentración fue el VCL4; en cuanto al potasio todos las concentraciones de los tratamientos oscilaron en un rango de 8.86 a 1.31 g/kg, la cama que mayor contenido de potasio presentó, fue el tratamiento VCB, mientras que el de menor concentración fue el TKB; en lo que respecta a Sodio, los tratamientos del método Vermicompostaje presentaron concentraciones superiores a los del método Takakura, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes, et al., 2016: p. 132).

De acuerdo a los límites de concentración establecidos por la US guidelines (Nt > 10 g/kg) y (P > 10 g/kg), todas las concentraciones de nitrógeno de cada uno de los tratamientos se encuentran bajo los límites establecidos mientras que las concentraciones de fósforo están fuera de rango.

En cuanto a micronutrientes, los tratamientos del método Vermicompostaje presentaron concentraciones de Hierro, Cobre, Manganeso y Zinc superiores a los del método Takakura, siendo el tratamiento VCL3, aquel que presentó la mayor concentración de entre todas las unidades experimentales, en lo que concierne al contenido de concentración de Calcio y Magnesio los tratamientos según el método Takakura obtuvieron mayores valores que los del Vermicompostaje, similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Gavilanes, et al., 2016: p. 132). De acuerdo a los límites de concentración establecidos por la Ecological criteria to soil improvers (Cu =100 mg/kg) y (Zn =300 g/kg), todas las concentraciones de nitrógeno de cada uno de los tratamientos se encuentran bajo los límites establecidos, aunque presentan valores muy inferiores frente al referente determinado por la norma. De manera general, los micronutrientes cumplen funciones específicas de nutrición suplementaria en cultivos agrícolas, así mismo de forma específica el Mg y el Ca pueden ser utilizados como componentes de fertilizantes para ajustar el pH del suelo (US guidelines, 2001, p. 66).

### 3.12. Concentración de metales pesados en el compost maduro

**Tabla 11-3:** Metales pesados realizados al compost maduro.

Tratamiento	Cr mg/kg	Cd mg/kg	As mg/kg	Se mg/kg	Hg mg/kg
<b>TKB</b>	3.878	0.165	0.0047	16.88	0.0068
<b>TKL1</b>	9.097	0.178	0.0053	9.04	0.0060
<b>TKL2</b>	9.197	0.172	0.0045	14.21	0.0053
<b>TKL3</b>	2.698	0.156	0.0059	18.23	0.0075
<b>TKL4</b>	8.067	0.186	0.0060	13.17	0.0093
<b>Promedio</b>	<b>6.587</b>	<b>0.17</b>	<b>0.00528</b>	<b>14.306</b>	<b>0.0349</b>
<b>VCB</b>	7.928	0.309	0.0051	11.10	0.0080
<b>VCL1</b>	10.55	0.337	0.0051	0.10	0.0086
<b>VCL2</b>	9.149	0.285	0.0068	14.53	0.0053
<b>VCL3</b>	7.015	0.304	0.0066	25.50	0.0100
<b>VCL4</b>	10.16	0.38	0.0047	8.94	0.0089
<b>Promedio</b>	<b>8.031</b>	<b>0.323</b>	<b>0.00566</b>	<b>12.034</b>	<b>0.00816</b>

Realizado por: CABRERA Ariel, 2018

De acuerdo a la tabla 11-3, se describen las principales características del compost final.

A cada uno de los tratamientos de compost final, se le analizó mediante pruebas de laboratorio la concentración de metales pesados, estos fueron: Cr, Cd, As, Se y Hg. Todas las concentraciones



de cada una de las camas tanto del método Takakura como Vermicompostaje fueron comparadas con la normativa US guidelines (Resumen de los límites para la aplicación en tierra) y de la Comisión Europea (Límites de metales pesados para compost), todas las concentraciones de metales pesados se encuentran dentro de los límites permisibles, además de ello según las comparaciones con las normativas citadas, todos los tratamientos realizados corresponden a un compost clase A, apto para la agricultura, si un compost presenta concentraciones elevadas de metales pesados, es decir que se encuentren fuera de los límites permisibles podría afectar el metabolismo microbiano, además de ser fitotóxico para las plantas similares resultados fueron encontrados por otros investigadores (Camiletti Morales, 2014, p.25).

Sumado a esto, también se determinó el promedio de la concentración de cada metal que presenta el compost proveniente del método Takakura y Vermicompostaje, con este valor promedio se puede establecer que el método Takakura en concentraciones de Cr, Cd y As contiene menor cantidad que el Vermicompostaje, mientras que en parámetros como Se y Hg, el Vermicompostaje posee concentraciones menores.

## Conclusiones

- Se establecieron volúmenes de lixiviado de 125 ml, 250 ml, 375 ml y 500 ml para ser incorporados exclusivamente a los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, tanto del método Takakura como Vermicompostaje, con excepción de los tratamientos patrones de cada técnica, la determinación de estos lixiviados estuvo previamente definido en el diseño de la investigación y su adición estaba regida de acuerdo al número de tratamiento.
- Se estimó que las cantidades de los ingredientes necesarios para la elaboración de la semilla Takakura fueron definidas de la siguiente manera; para la solución salada se necesitó: 60.73 g de cáscara de uva, 107.15 g de cáscara de naranja, 48.02 g de cáscara de manzana, 136.43 g de cáscara de pepinillo, 1630.66 g de hojas de col, 1003.48 g de hojas de nabo, 11.60 litros de agua y 62.52 gramos de sal; para la solución dulce se necesitó: 11.60 g de levadura comercial, 1.14 litros de yogurt, 1.55 g de cuajo de queso, 11.60 litros de agua y 752.61 g de azúcar; además se requirió 11.34 kg de hojarasca y 5.67 kg de aserrín fino.
- Se realizó un control eficiente del proceso de compostaje a través de pruebas de laboratorio, dónde se realizaron caracterizaciones físico-químicas, químicas y biológicas tanto de los materiales iniciales (solución dulce, solución salada, aserrín, hojarasca, residuos orgánicos y semilla Takakura) como de las muestras tomadas a lo largo del proceso de compostaje, los parámetros analizados para éstas últimas fueron: pH, CE, MO, CIC, C/N, macronutrientes, micronutrientes, metales pesados e IG.
- Se determinó la calidad del compost y Vermicompostaje a través de pruebas físico-químicas, químicas y biológicas, de acuerdo a la evolución de los parámetros analizados durante el proceso de compostaje, se pudieron establecer como mejores tratamientos a las camas VCB y TKL3, mismos que presentaron las siguientes características: MO 33.22%, pH 8.5, CE 2.96 mS/cm, CIC 34.96 meq/100, IG 69 %, C/N 16.25; y MO 41.26% ; pH 7.91; CE 2.34 mS/cm; CIC 54.3 meq/100; IG 71 % respectivamente , en cuánto a micro y macronutrientes, metales pesados y propiedades físicas del compost, ambos tratamientos también fueron los mejores en sus respectivas técnicas, de manera general, el mejor tratamiento observado de acuerdo a los análisis realizados corresponde al TKL3.

## **Recomendaciones**

- En caso de realizar procesos de compostaje para alguna institución, se debe contar con todo el apoyo logístico y humano para poder llevar a cabo el trabajo, ya que en muchos de los casos
- Es importante fragmentar los residuos orgánicos que llegan al sitio de composteo hasta que éstos adquieran un tamaño propicio para el desarrollo del proceso de compostaje, debido a que materiales iniciales demasiados grandes retardan la degradación de la materia orgánica.
- Se debe estar atentos a los cambios térmicos, ya que cuando se presenta un decrecimiento de temperatura en las camas puede estar ligado a falta de oxigenación y humectación de la pilas de composteo.
- Al momento de elaborar la semilla Takakura, se debe homogenizar correctamente todos los ingredientes necesarios con el fin de obtener un sustrato que beneficie el desarrollo del proceso de compostaje.
- Cuando se vaya a humedecer las camas, se debe colocar sólo la cantidad necesaria de lixiviado y agua, ya que al humedecerla excesivamente puede ocasionar un lavado de nutrientes.
- Antes de iniciar el proceso de compostaje, se debe realizar una caracterización físico-química, química y microbiológica de los materiales de partida, esto con el objetivo de evidenciar la evolución de cada parámetro al final del proceso.
- Al momento de realizar los volteos es importante contar con todos los equipos de protección personal, debido a que cuando se realiza esta actividad se está expuesto a vapores desagradables que pueden perjudicar la salud.
- Cuando se realice análisis de laboratorio de las muestras de compost recolectadas, se debe seguir a cabalidad todas las instrucciones de la metodología para la determinación de cada parámetro, con el fin de obtener resultados confiables.

## **Bibliografía**

**Abengoa.** *Los residuos en cifras*. [En línea] 28 de octubre 2013. [Consultado: 28 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.laenergiadelcambio.com/los-residuos-en-cifras>

**Andrade, David.** Reciclaje: Utilización de desechos orgánicos para obtener abono orgánico. [En línea] (Tesis). Universidad San Francisco, Ingeniería Ambiental, Quito – Ecuador. 31 de Octubre de 2008. pp. 51-67. [Consulta: 21 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/701/1/90611.pdf>

**Araucaria.** *Aireación del suelo*. [En línea] Temuco-Chile. 22 de septiembre de 2005. [Consulta: 4 de 3 de 2018.] Disponible en: <http://araucarias.blogspot.mx/2005/09/aireacin-del-suelo-la-aireacin-del.html>

**Brito, Uicab y Castro Sandoval.** “Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta”. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* [En línea] Universidad Autónoma de Yucatán. México: Vol. 2 (2). 2003. pp. 45-63. [Consulta: 19 de Marzo de 2018.] ISSN: 1870-0462. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93912118001.pdf>

**Cajamarca, Diego.** Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos. [En línea] (Tesis). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuenca-Ecuador. 2012. pp. 101-111. [Consulta: 22 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3277/1/TESIS.pdf>

**Camiletti Morales, Justin.** Estudio el Vermicompostaje de Compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza. Estudio el Vermicompostaje de Compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza. [En línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Miguel Hernández de Leche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. España: 2016. [Consulta: 19 de Marzo de 2018]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2820/1/TFM%20Camiletti%20Morales%2C%20Justin.pdf>

**Campos Naula, Shirley Catherine.** Evaluación de cuatro diferentes abonos orgánicos (Humus, Bokashi, Vermicompost y Casting), en la producción primaria forrajera de la *Brachiaria brizantha*. [En línea] (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de

Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica, Riobamba-Ecuador. 2010. p. 58  
[Consulta: 6 de Febrero de 2018]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1034/1/17T01029.pdf>

**Cariello, María Ester.** Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. [En línea] Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ingeniería. Paraná-Entre Ríos-Argentina. Vol. 3(3), 2007. pp. 26-37. [Consulta: 6 de Enero de 2018.] Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcsuelo/v7n3/art03.pdf>

**Díaz, Eduardo.** “Guía de Lombricultura”. *Agencia de desarrollo económico y comercio exterior-ADEX* [En línea] 2002. Loja-Ecuador. pp. 1-54. [Consulta: 6 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

**Escobar Escobar, Natalia; Mora Delgado, Jairo Y Romero Jola, Néstor.** “Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca” *Boletín Científico Centro de Museos*. [En línea] Museo de historia Natural. Vol. 16 (1) 2012. pp. 75-88. [Consulta: 1 de Febrero de 2018]. ISSN: 0123-3068. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>

**Foti, Natalia, Billard, Cristina Y Lallana, Víctor.** “Bioensayos de germinación con semillas de rucula y lechuga para monitoreo de calidad de agua” *Revista Científica Agropecuaria*. [En línea] Paraná – Entre Ríos – Argentina: Vol. 9 (1) 2005. [Consulta: 18 de Marzo de 2018]. ISSN: 47-53(205). Disponible en:  
[http://www.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%209/rca\\_9\\_1\\_pdf/rca\\_91\\_f.PDF](http://www.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%209/rca_9_1_pdf/rca_91_f.PDF)

**García, Fausto; et al.** *Propiedades físicas del suelo. Propiedades físicas del suelo*. [En línea] Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo – Uruguay. 2004. pp.1-68. [Consulta: 4 de Marzo de 2018.] Disponible en:  
<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

**Garzón, Leidy; et al.** *Límite de contracción*. [En línea] Universidad de la Costa, Ingeniería Civil, Barraquilla – Atlántico. 12 de octubre de 2013. [Consulta: 4 de 3 de 2018.] Disponible en: [http://www.academia.edu/12461004/LIMITE\\_DE\\_CONTRACCION](http://www.academia.edu/12461004/LIMITE_DE_CONTRACCION)

**Gavilanes, Irene.** Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (ECUADOR). [En línea] (Tesis). (Maestría). Escuela Politécnica Superior de Orihuela - UMH, Master Universitario de Investigaciones en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos. España. 28 de enero de 2014. pp. 1-81. [Consulta: 19 de Marzo de 2018.] <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2002/1/TFM%20Gavilanes%20Ter%C3%A1n%2C%20Irene%20del%20Carmen.pdf>

**Gavilanes, Irene; et al.** “Windrow composting as horticultural waste management strategy – A case study in Ecuador” *ELSEVIER-ScienceDirect*. [En línea]. Gestión en residuos. España: Vol. 48. Febrero de 2016. pp. 127-134. [Consulta: 19 de Marzo de 2018.] ISSN: 2015-11-026. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302105>

**Gobierno Autónomo Descentralizado Del Cantón Sucúa.** *Ley de transparencia*. [En línea]. Sucúa – Ecuador. 2017. pp. 1-2. [Consulta: 12 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.sucua.gob.ec/municipio/departamentos/obras-publicas>.

**Gobierno Autónomo Descentralizado Del Cantón Sucúa.** *Territorio y población del cantón Sucúa* [En línea] Sucúa – Ecuador. 2013. pp. 1-2. [Consulta: 3 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.sucua.gob.ec/index.php/ciudad/territorio-y-poblacion>.

**Gómez, Yamiris; González, María; Chiroles, Sergio.** “Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario” *Revista electrónica de la agencia de medio ambiente*. [En línea]. Clavel y Linás - Centro Habana. Vol. 4 (7). 2004. [Consulta: 2 de Febrero de 2018]. ISSN: 1683-8904. Disponible en: <http://ama.redciencia.cu/articulos/7.01.pdf>

**Gordillo Mansuur, Fabián Alberto.** Evaluación comparativa de la calidad de Compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. [En línea] (Tesis). Litoral, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil – Ecuador. 2010. [Consulta: 15 de Diciembre de 2017.] Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/13534/D42782.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**Gordillo, F.; et al.** “Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum*”. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Vol. 37. 2011, Buenos Aires.

**Grancia Fernández, Juan José.** Efectos del compost sobre las propiedades del suelo:

Evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen. [En línea] (Tesis). Universidad Politécnica de Cartagena, Industriales. Cartagena – España. 3 de Diciembre de 2012. pp. 56-76. [Consulta: 5 de Diciembre de 2017.]

Disponible en:

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3123/tfm213.pdf;jsessionid=5F89D9CE98DBE757C77EFD7BA5FD3DC1?sequence=1>.

**Guerrero César, et al.** “Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemando: evolución de la conductividad eléctrica, sulfatos y cloruros” [En línea] Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias, *División de Química Agrícola*, Alicante – España: *Vol.1 (1)*. 2014, p. 109-115. [Consultado: 16 de Noviembre de 2017]. ISSN: 99-03080. Disponible en:

<http://www.edafologia.net/revista/tomo3b/articulo109.pdf>

**Guerrero, César; et al.** “Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: Evolución de la conductividad eléctrica, sulfatos y cloruros” *Boletín de la sociedad España de la ciencia del suelo*. [En línea] universidad de Alicante, Facultad de Ciencias, División de Química Agrícola, Alicante-España. Vol. 1(Nº 3-1) 2014. pp. 109-115. [Consulta: 18 de Enero de 2018]. Disponible en:

<http://www.edafologia.net/revista/tomo3b/articulo109.pdf>

**Hernández Hernández, Arturo.** La composta, su elaboración y beneficio. [En línea] (Tesis).

Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” División de Agronomía, Ingeniería Agronómica en Producción, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Septiembre de 2013. pp. 1-76. [Consulta: 31 de Enero de 2018].

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1265/LA%20COMPSTA%2C%20SU%20ELABORACION%20Y%20BENEFICIO.pdf?sequence=1>

**Hernández, E.** *Manual de Vermicompostaje*. [En línea] 1ª Edición septiembre INVERSA,

Compostaje y Lombricultura. 2010, pp. 1-10. [Consulta: 6 de Febrero de 2018].

Disponible en: <https://inversanet.files.wordpress.com/2011/04/manual-vermicompostaje-web.pdf>

**Hipólito, Pedrero; et al.** *Obtención de: Vermicomposta o lombricomposta (Humus), ácido húmico (Fertilizante Foliar)*. [En línea]. Fundación produce Chiapas. a. c. enlace innovación y progreso. Chiapas-México-Ecuador. 2014. pp. 1-10. [Consulta: 6 de Febrero de 2018.] Disponible en: [http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca\\_digital/manual-de-lombricultura.pdf](http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/manual-de-lombricultura.pdf)

**Ibáñez, Juan José.** *El agua en el suelo. Textura del suelo y propiedades hídricas*. [blog]. Madrid – España. 5 de junio de 2006. Un universo bajo nuestros pies. [Consulta: 4 de 3 de 2018.] Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>

**ILUSTRE MUNICIPALIDAD DEL CANTÓN MORONA.** La ordenanza municipal que regula la gestión integral de los residuos sólidos domésticos y especiales en el Cantón Morona [En línea]. Ecuador. 2007. [Consulta: 18 de Marzo de 2018.] Disponible en: [http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/ORDENANZAS/O\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS.pdf](http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/ORDENANZAS/O_RESIDUOS_SOLIDOS.pdf)

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS - INEC.** *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales*. [En línea] Ecuador: 2014. pp. 1-30. [Consultado: 16 de Noviembre de 2017]. Disponible en: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_ConsProvinciales\\_2014/Municipios2014/201412\\_GADS%20MunicipalesDocumentoTecnicoDeResultados.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Municipios_ConsProvinciales_2014/Municipios2014/201412_GADS%20MunicipalesDocumentoTecnicoDeResultados.pdf)

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS–INEC.** *VI Censo de población y V de vivienda*. [En línea]. Cantón Sucúa-Ecuador. 25 de Noviembre de 2010. pp. 1-4 [Consulta: 16 de Noviembre de 2017]. Disponible en: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Bibliotecas/Fasciculos\\_Censales/Fasc\\_Cantonales/Morona\\_Santiago/Fasciculo\\_Sucua.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantonales/Morona_Santiago/Fasciculo_Sucua.pdf)

**Jara Samaniego, Janneth.** Manejo y Caracterización de residuos sólidos urbanos de la provincia de Chimborazo-Ecuador y su potencial uso en la agricultura. [En línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Miguel Hernández de Leche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. España: 2014. pp. 1-66. [Consulta: 19 de Marzo de 2018]. Disponible en:



<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2003/1/TFM%20Jara%20Samaniego%2C%20Janneth.pdf>

**Jaramillo, Gladys; Zapata, Liliana.** Aprovechamiento de los Residuos Sólidos orgánicos en Colombia. [En línea] (Tesis). Universidad de Antioquia, Facultad de Ambiental, Especialización en Gestión Ambiental. 2008. pp.2-116. [Consulta: 31 de Enero de 2018.] Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

**Jaramillo, Henao y Márquez, Zapata.** Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. [En línea] Colombia: 2008. pp. 1-21. [Consultado: 16 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Apressolorgco.pdf>

**Jiménez Chuva, Silvio Olmedo.** Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el Mercado Mayorista del Cantón Riobamba. [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba – Ecuador. Diciembre de 2015. pp. 1-140. [Consulta: 28 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4867>.

**Laich, Federico.** El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. [En línea] Santa Cruz de Tenerife. 21 de octubre de 2011. [Consulta: 2 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>

**LIBRO VI ANEXO 6.** *Norma de calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.* [En línea] 2015. pp. 1-42 [Consulta: 17 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112185.pdf>

**Mirabelli, Emilio.** Parámetros de Compostaje. El compostaje proyectado a la lombricultura. Buenos Aires: Hemisferio Sur S.A., 2008.

**Montesinos Gonzáles, Dayal Gautama.** Uso de lixiviado procedente de material orgánico de residuos de mercados para la elaboración de biol y su evaluación como fertilizante para pasto. [En línea] (Tesis). (Maestría) Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Maestría en Agroecología y Ambiente, Cuenca-Ecuador. 2013. p. 48.

[Consulta: 25 de Septiembre de 2017]. Disponible en:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4706/1/TESIS.pdf>

**Moreno, Joaquín y Herrero, Raúl.** *Compostaje*. 1ª ed. Barcelona: Mundi-Prensa, 2008, pp. 67-100.

**Navarro, Ginés y Navarro, Simón.** *Fertilizantes Química y Acción*. Barcelona: Mundi-Prensa, 2014.

**Navarro, Ricardo.** Manual para hacer composta aeróbica. Vol. 1. El Salvador: CESTA, 1999.

**Olo Alcasena, María Arantzazu.** Evaluación de distintos compost (Industrial y Doméstico) como ingredientes de sustrato y la acción de lavado sobre los mismos en pensamiento. [En línea] Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Pamplona-España. pp. 1-54. 28 de Marzo de 2014. [Consulta: 25 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/10407/629128.pdf?sequence=1>.

**Pérez, Andrés y Rodríguez, R.** “Capítulo 8 gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos” *Evaluación y prevención de riesgos ambiente en Centroamérica*. [En línea] Girona España. 2008. [Consulta: 15 de Enero de 2018]. ISBN: 978-84. Disponible en: [http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09\\_Cap%C3%ADtulo8.pdf](http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Cap%C3%ADtulo8.pdf)

**Porras Hidalgo, Sebastián Alejandro.** Producción de compost a partir de residuos sólidos de una planta de celulosa. [En línea] (Tesis). Universidad, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología, Santiago – Chile. Marzo de 2011. pp. 1-90. [Consulta: 2 de Febrero de 2018]. Disponible en: [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-porras\\_sh/pdfAmont/cf-porras\\_sh.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-porras_sh/pdfAmont/cf-porras_sh.pdf)

**Ramos Agüero, David; Terry Alfonso, Elein.** “Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas” *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. [En línea] 2014, Ministerio de Educación Superior, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. Vol.35 (no. 4), pp. 52-59. [Consulta: 5 de Febrero de 2018]. ISSN 1819-4087. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193232493007.pdf>

**Riera, Nicolás.** Evaluación del Proceso de Compostaje de Residuos Avícolas. Evaluación del Proceso de Compostaje de Residuos Avícolas. [En línea] (Tesis). Universidad de Morón, Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, Argentina. 2009. [Consulta: 1 de Febrero de 2018.] Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_aves/produccion\\_avicola/02-compostaje.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/02-compostaje.pdf)

**Rodríguez Alfaro, Mirelys; et al.** “Contenido de metales pesados en abonos orgánicos sustratos y plantas cultivadas en organopónicos” *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. [En línea] Ministerio de Educación Superior, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. Vol. 33 (2), 2012. pp. 5-12. [Consulta: 27 de Enero de 2018]. ISSN: 0258-5936. Disponible en: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/944628/1/CONTENIDODEMETALESPESADOLENABONOSORGANICOS.pdf>

**Rodríguez, Jesús.** Compost. Madrid: V.A. Impresores, S.A., 2009.

**Rodríguez, Mariela.** “Elementos esenciales y beneficiosos”. *Tecnologías y programación en agroplasticultura* [En línea] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá-Colombia. Vol. 1(1). 2004. pp. 25-36. [Consulta: 19 de Marzo de 2018]. ISSN: 84-96023-27-3 <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdfsequence=1&isAllowed=y>

**Román, Pilar, Martínez, María y Pantoja, Alberto.** “Manual de compostaje del agricultor” *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile* [En línea], 2013, Chile vol. 1 p. 1 [Consulta: 20 de Noviembre de 2017.] ISSN. 978-92-5-307844-8 Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

**Salmerón, Leonor.** *Compostaje y cultivo bajo invernadero*. Aprovechamiento cíclico de los recursos vegetales. Almería – España: Almería ediciones S.A., 2002 p 83.

**Silva, Juan; López, Piedad y Valencia, Pady.** “Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol” *Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR)*. [En línea] Universidad de Valle, Facultad de Ingeniería A.A. Cali - Colombia. 2010. pp. 1-25 [Consulta: 31 de Enero de 2018] ISSN: 25360. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>

**Soliva Torrentó, Monserrat.** *Materia orgánica y compostaje, control de la calidad y del proceso* [En línea]. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona – UPC, Brasil - Ecuador. 15 de Marzo de 2010. [Consulta: 2 de Enero de 2018]. Disponible en: <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/70-materia-organica-y-compostaje-control-de-la-calidad-y-del-proceso/file>

**Tenecela, Xavier.** Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos. [En línea] (Tesis). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias, Agropecuarias. Ecuador. 2012. pp. 98-101. [Consulta: 25 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3252/1/TESIS.pdf>

**Tituaña Morocho, Beatriz Elizabeth.** Elaboración de compost mediante la inoculación de tres fuentes de microorganismos a tres dosis. Tabacundo Pichincha. [En línea] (Tesis). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Quito – Ecuador. 2009. p. 101. [Consulta: 30 de Noviembre de 2017]. Disponible en: [https://www.soiltechcorp.com/images/uploads/product\\_PDFs/Composting\\_Flower\\_Waste\\_2%28Spanish%29.pdf](https://www.soiltechcorp.com/images/uploads/product_PDFs/Composting_Flower_Waste_2%28Spanish%29.pdf)

**Tortorolo, María; et al.** “Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje” *SciELO* Vol. 26. 1ª ed., 2008, Buenos Aires pp. 53-78.

**Uyaguari, Elmer.** Manejo de residuos vegetales de los mercados de Cuenca para la elaboración de abonos orgánicos. [En línea] (Tesis). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuenca – Ecuador. 2012. pp. 55-91. [Citado el: 26 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3345/1/TESIS.pdf>

**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 (ESPOCH). [En línea] (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba – Ecuador. Enero de 2016. [Consulta: 22 de Enero de 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4887>

**Vásquez, María; Prada, Paula; Mondragón, Maritza.** “Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha del café con la aplicación de microorganismos nativos”. *NOVA-Publicación científica en ciencias biomédicas*. [En línea] Universidad de Santander – UDES, Campus Universitario Lagos de Cacique, Bucaramanga, Colombia: Vol. 8 (14). pp. 213-219. 2010. [Consultado: 2 de Febrero de 2018]. ISSN: 1794-2470. Disponible en:  
<http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/163/325>

**Velásquez, Ana.** *Gestión ambiental y tratamiento de residuos urbanos (manuscrito): propuesta para la zona metropolitana de Guadalajara a partir de las experiencias de la unión europea*. [En línea] Universidad Complutense. Madrid – España. Marzo de 2006. [Consultado: 15 de Noviembre de 2017]. Disponible en:  
<http://eprints.ucm.es/6492/1/ucm-t29577.pdf>.

**Zenz, Emanuel.** *Hongos en el compost* [En línea] 9 de Noviembre de 2015. [Consulta: 2 de Febrero de 2018]. Disponible en: <https://prezi.com/8bfty1mpmreg/hongos-en-el-compost/>.