



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO DE LOS CANTONES COLTA, ALAUSI Y GUAMOTE, MEDIANTE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS. COMPOSTAJE, CO-COMPOSTAJE, VERMICOMPOSTAJE Y TAKAKURA.”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: MEJÍA HIDALGO ESTALIN FABIÁN

RAMOS ROMERO STEVEN STALIN

TUTORA: DRA. JANNETH JARA SAMANIEGO, PhD

Riobamba – Ecuador

2019

© 2019, Estalin Fabián Mejía Hidalgo, Steven Stalin Ramos Romero.

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

CERTIFICACIÓN

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación tipo Proyecto Técnico **“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO DE LOS CANTONES COLTA, ALAUSI Y GUAMOTE, MEDIANTE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS. COMPOSTAJE, CO-COMPOSTAJE, VERMICOMPOSTAJE Y TAKAKURA.”** de responsabilidad de los señores, Mejía Hidalgo Estalin Fabián y Ramos Romero Steven Stalin ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dra Lourdes Janneth Jara S. PhD. DIRECTORA DE TESIS
Ing. Marcela Yolanda Brito M. MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, Estalin Fabián Mejía Hidalgo, Steven Stalin Ramos Romero declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra 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 autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 21 de febrero del 2018

Estalin Fabián Mejía Hidalgo

C.I. 060457595-1

Steven Stalin Ramos Romero

C.I. 060440626-4

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Mejía Hidalgo Estalin Fabián y Ramos Romero Steven Stalin**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenecen a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.**”

Mejía Hidalgo Estalin Fabián

Ramos Romero Steven Stalin

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado en primera instancia a mi madre Dolorosa, por haberme guiado y protegido durante toda la carrera universitaria

A mis padres Stalin y Lolita, como también a mi hermano Alexis, por ser un pilar fundamental en mi vida ya que gracias a cada uno de sus consejos me permitieron reflexionar sobre cada uno de mis errores y virtudes que me harán seguir formándome como un buen profesional, hijo y hermano.

Steven Stalin Ramos Romero

El presente trabajo va dedicado a mi Dios quien es fuente vital de fuerza y sabiduría, guiando cada uno de mis pasos.

Con cariño a mis abuelitos Marco y Loli por ser parte fundamental e incondicional en el transcurso de mi vida.

A mis padres, hermanos, tíos y primos quienes han formado parte esencial en cada una de las etapas de mi vida, siendo un pilar fundamental para el cumplimiento de mis sueños.

Estalin Fabián Mejía Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios y a la Madre Dolorosa por haber guiado y bendecido nuestro camino.

A la Mancomunidad de los cantones Colta, Alausí y Guamote por permitirnos el desarrollo de este proyecto, acercándonos al sueño de ser profesionales.

Al departamento de Gestión Ambiental de la Municipalidad del cantón Guamote, precedido por la Ing. Tania Torres, por las gestiones realizadas para el correcto desarrollo del proyecto.

A todo el personal que conforma la hacienda Agroecológica de Totorillas por habernos brindado su apoyo, experiencia y materiales de trabajo durante todas las etapas de la investigación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, principalmente a la Escuela de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental por las enseñanzas recibidas, las cuales nos han formado como profesionales capaces para ser parte productiva y beneficiosa para la sociedad.

Agradecemos a la Dra. Janneth Jara por habernos brindado sus conocimientos, soporte, tiempo y dedicación para cumplir una de las metas más importantes en nuestra vida profesional.

Agradecemos a nuestros amigos quienes hicieron de nuestra vida profesional una experiencia inolvidable.

A Cristian Basantes y Shirley Jara por habernos aportado sus experiencias en el desarrollo de este proyecto.

A nuestras familias les estaremos eternamente agradecidos por el apoyo incondicional, el mismo que será recompensado siendo los profesionales y seres humanos que ustedes esperan ver.

Steven Stalin Ramos Romero

Estalín Fabián Mejía Hidalgo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO	5
1.1 Residuo	5
1.1.1 <i>Clasificación de los Residuos</i>	5
1.2 Residuos sólidos urbanos (RSU)	7
1.2.1 <i>Generación de RSU</i>	7
1.2.2 <i>Características de los RSU</i>	7
1.2.3 <i>Legislación Ecuatoriana para el manejo de RSU</i>	8
1.3 Tipos de tratamiento para la gestión de residuos	11
1.3.1 <i>Abonos orgánicos</i>	11
1.4 Compostaje / Co Compostaje	13
1.4.1 <i>Sistemas de Compostaje</i>	14
1.4.2 <i>Bioquímica del compostaje</i>	15
1.4.3 <i>Etapas del compostaje</i>	16
1.4.4 <i>Microorganismos presentes en el proceso de compostaje</i>	17
1.4.5 <i>Parámetros de control en el proceso de compostaje</i>	18
1.4.6 <i>Propiedades del compost</i>	23
1.4.7 <i>Legislación para procesos de compostaje</i>	24
1.5 Takakura	27
1.5.1 <i>Microorganismos fermentativos</i>	27
1.5.2 <i>¿Cómo se debe tratar el compost Takakura?</i>	28
1.5.3 <i>Ventajas del método Takakura</i>	29
1.6 Vermicompostaje	29
1.6.1 <i>Ventajas del vermicompost</i>	29
1.6.2 <i>Beneficios para las plantas</i>	30
1.6.3 <i>La lombriz roja californiana - Eisenia foetida</i>	30
1.6.4 <i>Condiciones óptimas para las lombrices</i>	31
1.6.5 <i>Materia orgánica ideal para el vermicompostaje</i>	31
1.6.6 <i>Problemas en el vermicompostaje</i>	32
1.6.7 <i>Características del vermicompost</i>	33

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	34
2.1	Zona de estudio	34
2.2	Diseño Experimental.....	34
2.2.1	<i>Tipo de la investigación</i>	34
2.2.2	<i>Unidad de análisis</i>	34
2.2.3	<i>Población de estudio</i>	34
2.2.4	<i>Técnicas de Recolección de Datos</i>	35
2.2.5	<i>Diseño experimental</i>	35
2.2.6	<i>Maquinaria, materiales, equipos y organismos utilizados en la elaboración y monitoreo de las pilas</i>	36
2.3	Técnicas	37
2.3.1	<i>Toma de muestra para análisis inicial</i>	37
2.3.2	<i>Recolección y transporte de los RSO</i>	37
2.3.3	<i>Triturado de Residuos Orgánicos</i>	38
2.3.4	<i>Montaje de los Tratamientos Biológicos</i>	38
2.3.5	<i>Control de proceso</i>	42
2.3.6	<i>Reactivación de Pilas de compostaje y de Co-compostaje</i>	43

CAPÍTULO III

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1	Análisis de Resultados	44
3.1.1	<i>Caracterización de los parámetros iniciales</i>	44
3.1.2	<i>Evolución de la temperatura</i>	45
3.1.3	<i>Evolución de la materia orgánica</i>	46
3.1.4	<i>Evolución del pH</i>	47
3.1.5	<i>Evolución de la Conductividad Eléctrica (CE)</i>	48
3.1.6	<i>Parámetros Biológicos</i>	49
	CONCLUSIONES:	52
	RECOMENDACIONES	53

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Diagrama general de la tipificación de los residuos sólidos urbanos.	6
Figura 2-1: Marco legal ecuatoriano para el manejo de residuos.	9
Figura 3-1: Proceso de compostaje takakura.	28
Figura 4-1: Morfología de la Lombriz roja californiana - <i>Eisenia foetida</i>	30
Figura 5-1: Residuos iniciales y vermicompostaje.	32
Figura 1-2: Triturado de residuos.	38
Figura 2-2: Armado de pila de Compostaje.	38
Figura 3-2: Armado de pila de Co Compostaje.	39
Figura 4-2: Armado de pila de Takakura.	40
Figura 5-2: Armado de Cama para vermicompostaje.	41
Figura 6-2: Control de PH, %H, T°.	42
Figura 7-2: Etapa de maduración.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Límites máximos de metales pesados y polifenoles para considerar un buen compost en base a la Norma Chilena.....	25
Tabla 2-1: Apartados del anexo 1	27
Tabla 3-1: Parámetros físico químicos del Vermicompost.	33
Tabla 1-2: Cantidades para mezclas en fermento dulce y salado.....	39
Tabla 2-2: Proporciones de mezcla para el compost semilla	40
Tabla 3-2: Cantidades para elaboración de inóculo.	43
Tabla 1-3: Caracterización físico- química	44
Tabla 2-3: Parámetros de calidad para un compost maduro	50
Tabla 3-3: Análisis Estadístico.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Evolución de temperatura.....	45
Gráfico 2-3: Materia orgánica.....	46
Gráfico 3-3: Evolución de pH.....	47
Gráfico 4-3: Conductividad Eléctrica (ds/m).....	48
Gráfico 5-3: Índice de Germinación	49

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A: Fase Experimental
- Anexo B: Fase de laboratorio
- Anexo C: Zona de estudio
- Anexo D: Técnicas de laboratorio para la determinación de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Hacienda Agroecológica de Totorillas ubicada a 10 km del área urbana del cantón Guamote, junto a la carretera Panamericana Sur, misma que abarca un área de 50 hectáreas. El objetivo del estudio fue aprovechar los residuos sólidos orgánicos de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo de los cantones Colta, Alausí y Guamote a través de las técnicas de Compostaje, Co-compostaje, Takakura y Vermicompostaje, elaborando abonos orgánicos que puedan ser utilizados en los suelos. Se realizó la caracterización inicial de la materia orgánica a compostar proveniente de los botaderos a cielo abierto del cantón Colta, Guamote y de la Hacienda Agroecológica de Totorillas, ajustando una relación C/N y humedad adecuadas para asegurar una correcta transformación de la materia orgánica. Posteriormente se elaboraron 4 tratamientos con las siguientes características: una pila de Compostaje (1 ton de residuos orgánicos), una pila de Co-Compostaje (850 kg de residuos orgánicos +150 kg de paja), una pila de Takakura (65 kg de compost semilla + 300 kg de residuos orgánicos) y una cama de vermicompostaje de 1m² (60 kg Residuos Orgánicos precompostados +lombrices). Se monitoreó el pH, humedad y temperatura como principales parámetros de control del proceso, registrándose 5 volteos en los tratamientos de Compostaje, Co-compostaje y Takakura, e tomaron 24 muestras en total analizando: pH, CE, %MO y para las muestras iniciales y finales %IG, macronutrientes (NPK) y micronutrientes (Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn). La caracterización de los abonos obtenidos determinó que todos los tratamientos cumplen con criterios de calidad para ser usados directamente en el suelo a excepción del compostaje el cual deberá ser mezclado con otro sustrato de mejor calidad para su utilización como enmienda agrícola.

Palabras Clave: <BIOTECNOLOGIA>, <COMPOSTAJE>, <CO-COMPOSTAJE>
<TAKAKURA(TÈCNICA)>, <VERMICOMPOSTAJE (TÈCNICA)>, <RESIDUOS SÒLIDOS
ORGÀNICOS>,<TOTORILLAS (COMUNIDAD)>

ABSTRACT

The present research work was carried out at the Agroecological Hacienda of Totorillas, located 10 km from the urban area of the Guamote canton, next to the Pan Americana South highway, which covers an area of 50 hectares. The objective of the study was to take advantage of the organic solid waste of the Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo of the cantons Colta, Alausí and Guamote through the techniques of Composting, Co-composting, Takakura and Vermicomposting, elaborating organic fertilizers that can be used in the soils. The initial characterization of the organic matter to be composted from the open-air dumps of the canton Colta, Guamote and the Agroecological Hacienda of Totorillas was carried out, adjusting a C / N ratio and adequate humidity to ensure a correct transformation of the organic matter. Later four treatments were elaborated with the following characteristics: a pita of Composting (1 ton of organic residues), a pita of Co-Composting (850 kg of organic residues +150 kg of straw), a pile of Takakura (65 kg of compost) seed +300 kg of organic waste) and a bed of vermicompost of 1m² (60 kg pre-composted organic waste + earthworms). The pH, humidity and temperature were monitored as the main control parameters of the process, being recorded in the treatments of Composting, Co-composting and Takakura, and 24 samples were taken in total analyzing: pH, CE, % MO and for the initial samples and end %IG; macronutrients (NPK) and micronutrients (C Mg, Fe, Cu, Mn, Zn). The characterization of the fertilizers obtained determined that all the treatments fulfill quality criteria to be used directly in the soil with the exception of composting which must be mixed with another substrate of better quality for its use as an agricultural amendment.

Key Words: <BIOTECHNOLOGY>, <COMPOSTING>, <CO-COMPOSTING>
<TAKAKURA (TECHNICAL)>, <VERMICOMPOSTAGE (TECHNICAL)>,
<SOLID ORGANIC RESIDUES>, <TOTORILLAS>.

INTRODUCCIÓN

La basura constituye un gran problema en la sociedad a nivel mundial, al ser el resultado de todo lo que el ser humano produce, utiliza y desecha debido a la sobrepoblación, las actividades humanas modernas y el consumismo.

La Mancomunidad de los cantones Colta, Alausí y Guamote de la provincia de Chimborazo-Ecuador, fue conformada jurídicamente, con la finalidad de unir esfuerzos y enfrentar el problema de la contaminación del medio ambiente por el mal manejo de los residuos sólidos, debido a algunos factores como: el aumento de densidad poblacional, los pocos recursos disponibles de las municipalidades, la falta de educación ambiental y un marco normativo ineficiente y desactualizado en cuanto a técnicas de aprovechamiento de residuos sólidos, contribuyendo a la formación de contaminantes como: vectores de enfermedades, malos olores, gases, lixiviados, daños a los recursos suelo, aire y agua, aportando en la disminución de la capacidad y vida útil del relleno sanitario.

Los procesos empleados para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) fueron: compostaje, co-compostaje, vermicompostaje y Takakura. Para esto, se realizó la caracterización de los RSU, se dio seguimiento al proceso controlando pH, Conductividad Eléctrica (CE), temperatura, humedad y aireación. Los abonos obtenidos fueron analizados, estableciéndose que todos, a excepción del compostaje, pueden ser utilizados en prácticas agrícolas.

JUSTIFICACIÓN:

Al no contar con alternativas de tratamientos de residuos para minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales, se ha visto la necesidad de tratar los residuos de naturaleza orgánica, proponiendo tecnologías de aprovechamiento biológico con el fin de analizar, comparar y dar a conocer la tecnología de tratamiento que más se adapte a las necesidades de la mancomunidad, siendo uno de los objetivos principales ayudar a prolongar la vida útil del relleno sanitario, al disminuir la cantidad de residuos que ocupa la celda y evitando los diferentes procesos físico químicos y biológicos que sufren al degradarse, disminuyendo la producción de lixiviados.

El compostaje y vermicompostaje son tratamientos biotecnológicos de bajo coste que constituyen una alternativa segura, sostenible y rentable que permite aprovechar el potencial biodegradativo de los residuos orgánicos, aportando una gran cantidad de nutrientes al producto final, que contiene materia orgánica estabilizada con un alto grado de higienización.

La implementación de estas técnicas permiten disminuir la contaminación producida por malos olores, la generación de lixiviados, la presencia de factores que provocan enfermedades y el deterioro del paisaje, ocasionado por la acumulación de basura, a la vez que se obtienen abonos cuyo empleo evitaría el uso de fertilizantes que causan un deterioro progresivo al recurso suelo, disminuyendo su capacidad de producción y afectando a la economía del sector agrícola.

El presente trabajo pretende ser una fuente de información que engloba el análisis y el tratamiento de la fracción orgánica que permitirá a los municipios que conforman la mancomunidad tomar decisiones a favor de la población, mitigando los impactos ambientales, sociales y económicos, generados por la acumulación de residuos sólidos orgánicos permitiéndoles establecer la tecnología de tratamiento más idónea a su realidad, ayudando a fortalecer las actividades productivas de los cantones y permitiendo a la mancomunidad reducir y generar ingresos de una manera sostenible.

Este trabajo de titulación se encuentra dentro de la línea de investigación de protección ambiental y del perfil profesional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas y la sublínea de tecnología de tratamiento de recursos y residuos de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

ANTECEDENTES

Según Paula Guerra, gerente del Programa Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos del Ministerio del Ambiente, cada ecuatoriano en promedio, genera 0,57 kg de basura al día. De ahí la importancia de “un buen tratamiento de los desperdicios, lo que ayudará a mejorar el nivel de los ciudadanos”, señaló (M.A.E., 2015).

La Empresa Municipal de Aseo de Cuenca en el año 2009 adoptó la práctica de separar el material orgánico de los mercados y los restos vegetales producto de la poda de espacios verdes y utilizarlos como materia prima para la producción de compost y humus. Desde la implementación del sistema, se ha logrado aumentar constantemente la producción de compost y humus, pasando de 1 479 986 kg en 2009, a 2 673 947 kg en 2011. Esta iniciativa de aprovechamiento de residuos orgánicos para la elaboración de compost y humus en el cantón Cuenca, llevada adelante por la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, ganó el Primer Premio a las Buenas Prácticas en la categoría Fomento Productivo.

El método de compostaje takakura, ayuda a la descomposición de residuos de una forma rápida, económica y ambientalmente amigable. Ha sido probado en el centro integral de residuos sólidos de la ciudad de Loja. El método requiere el uso de microorganismos que descompongan residuos

en un menor tiempo y utiliza cualquier tipo de desechos incluso aceite residual de cocina ya que es un método que provoca una rápida descomposición de los residuos líquidos y sólidos(Ocampo, Gutiérrez, & Ramírez, 2017).

Caracterización de los residuos sólidos de los cantones Colta Alausi y Guamote

- **Alausi**

Producción Per cápita = 0,73 kg/hab/día

Densidad promedio = 234,74 kg/m³

Componentes de desechos sólidos de Alausi: Papel 5,49% -Cartón 2,97%- Desperdicios Orgánicos-76,92%-Plástico 11,3%- Metal 0,46%.

- **Colta**

Generación Per cápita = 0,61 kg/hab/día

Densidad promedio = 172,42 kg/m³

Componentes de desechos sólidos de Colta: Papel 12,93%-Cartón 10,72%- Desperdicios Orgánicos 48,44%-Plástico 25,81%, Metal 0%, Vidrio 2,10%, Material Fino 0,0

- **Guamote**

Generación Per cápita = 0,76 kg/hab/día

Densidad promedio = 174,44 kg/m³

Componentes de desechos sólidos de Guamote: Papel 14,67% - Cartón 9,13% Desperdicios orgánicos 49,29%- Plástico 23,23-Metal 0,00%-Vidrio 1,62-Material Fino 2,05%.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general:

- Aprovechar los residuos sólidos orgánicos de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo de los Cantones Colta, Alausí y Guamote, mediante tratamientos biológicos: (Compostaje, Co-compostaje, vermicompostaje y Takakura).

Objetivos Específicos:

- Analizar los parámetros físico-químicos, químicos y biológicos de los residuos orgánicos.
- Realizar 4 tratamientos biológicos para los residuos orgánicos de la mancomunidad.
- Comparar las calidades de los abonos orgánicos a través del análisis de sus propiedades físico químicas, químicas y biológicas.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Residuo

Se puede definir un residuo como todo material que no tiene una aplicación específica y que, por tanto, su valoración es nula y además estos precisan de un costo de gestión (Castrillón, Olivia & Puerta, 2004, p. 16).

Los residuos son el subproducto de la actividad del hombre y se han producido desde inicios de la humanidad. Cada día aumentan en cantidad y variedad como consecuencia del incremento de la población humana y del desarrollo tecnológico e industrial. Su disposición final incorrecta ha ocasionado grandes problemas al ambiente, contaminando el agua, el aire y el suelo (Castrillón, Olivia & Puerta, 2004, p. 16).

La problemática ambiental generada por el incremento de los residuos sólidos se debe, en parte, a la falta de educación y responsabilidad ambiental para separarlos en la fuente y poder aprovecharlos nuevamente como materia prima para la fabricación de nuevos productos (Castrillón, Olivia & Puerta, 2004, p. 15).

1.1.1 *Clasificación de los Residuos*

Los residuos se pueden clasificar de acuerdo a la composición, biodegradabilidad y la fuente de origen. Se debe tener en cuenta que es un residuo y un desecho; a diferencia del residuo los desechos no se pueden reciclar, por lo que es recomendable darle un mejor uso a los residuos y colaborar con el ambiente que día a día se deteriora más (Ruiz, Wolff y Claret, 2015).

Clasificación según su:

1.1.1.1 *Origen*

- Residuos domiciliarios.
- Residuos Industriales y de construcción
- Residuos hospitalarios o sanitarios
- Residuos Municipales

1.1.1.2 Biodegradabilidad.

- Residuos orgánicos
- Residuos Inorgánicos

1.1.1.3 Tipificación de los residuos sólidos urbanos

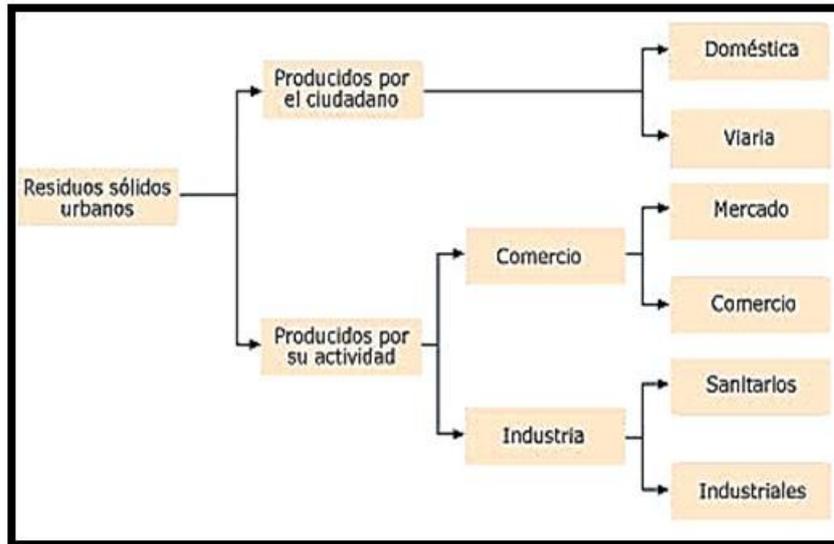


Figura 1-1: Diagrama general de la tipificación de los residuos sólidos urbanos.
Fuente: (ambientum, 2018)

1.1.1.3.1 Residuos orgánicos

Aquellos que componen este grupo son principalmente los vegetales, frutas, productos comestibles y animales que se encuentran en descomposición y pueden volver a la tierra una vez descompuestos; estos son productos biodegradables (Ruiz, Wolff y Claret, 2015).

1.1.1.3.2 Residuos Inorgánicos

Lo forman los residuos que por sí solos no tienen la capacidad de biodegradarse, como las latas, vidrios, plásticos y otros productos; por lo cual se hace necesario el uso de máquinas y aditivos para poder reutilizarlos (Ruiz, Wolff y Claret, 2015).

1.1.1.3.3 Según su Composición

Engloba los residuos como el papel y cartón (por ejemplo revistas, facturas, periódicos, carpetas y libros), vidrio (entre ellos bombillos, vajillas, vasos, jarrones, espejos y mesas), plásticos (como envases de jugos o refrescos, sorbetes, bolsas, juguetes y tubos), metales (tales como tubos, cables, lamias, latonería dañada, estaño, rejas y sillas), aceites, pinturas, y muchos otros, que poseen sustancias derivadas del aluminio, azufre, petróleo, litio y diferentes sustancias químicas que pueden ser fácilmente reutilizadas (Ruiz, Wolff y Claret, 2015).

1.2 Residuos sólidos urbanos (RSU)

Aquellos que son generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, además de todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.

También son considerados como residuos urbanos los procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas; los de animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados; escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación (Crana, 2005, p. 6).

1.2.1 Generación de RSU

La mayoría de las ciudades están avanzando en su desarrollo sin controlar adecuadamente todos los aspectos ambientales generados sobre su entorno. Este desarrollo se ha forjado mediante procesos y actividades que llevan implícitos la producción de una gran cantidad de residuos. El consumo diario además de las distintas actividades económicas está dando lugar al aumento de la generación de residuos y con ello los problemas derivados de su inadecuada gestión, mismos que muestran una relación directa entre el crecimiento económico y la producción de residuos generados (Crana, 2005, p. 6).

1.2.2 Características de los RSU

Según diversos estudios los distintos componentes de los residuos demuestran que en los países desarrollados, la materia orgánica animal y vegetal biodegradable es menor que en los países en vías de desarrollo. Las características de los residuos sólidos urbanos son, las siguientes:

- Densidad

Este parámetro es variable en función de la heterogeneidad de los residuos. Su porcentaje es mayor en los países tercermundistas; la densidad varía de acuerdo al nivel de vida de cada sociedad ya que en lugares con un alto nivel de vida se desechan menos envases sin retorno, voluminosos y de poco peso, lo que hace que los residuos tengan una baja densidad (Costa, 1995).

- Humedad

Posee una influencia directa sobre el poder calorífico de los residuos, también en la transformación biológica de las materias orgánicas fermentables. Esta característica suele ser menor en las zonas céntricas y desarrolladas de las ciudades, y tiene una mayor concentración en zonas de comerciales (Costa, 1995).

- Poder calorífico

Se considera que por lo general la energía oscila entre los 1×10^3 - 1.610^3 kcal/kg. Un mayor poder calorífico de las basuras se presenta en los países más industrializados y con humedad baja. (Costa, 1995).

- Relación C/N

Depende esencialmente del aporte al residuo, de la fracción papel-cartón, estos componentes hacen que la relación aumente o disminuya; en los países de primer mundo existen valores superiores a 35, mientras que en los países tercermundistas es inferior a 28. El valor óptimo se considera entre 20-35 este valor indica una transformación biológica eficaz (Costa, 1995).

1.2.3 *Legislación Ecuatoriana para el manejo de RSU.*

Un marco jurídico atribuye varias normas que se interrelacionan entre sí y tienen jerarquía, la legislación nacional relacionada al manejo de residuos sólidos se puede enmarcar de acuerdo a la estructura mostrada en la Figura 2-1.

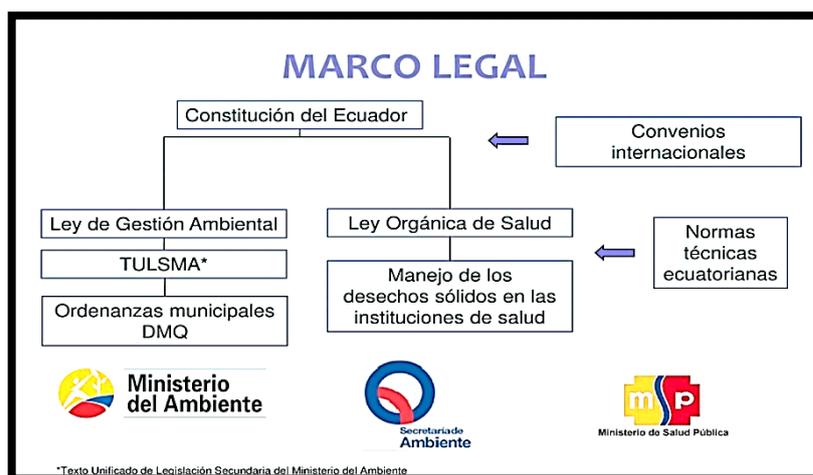


Figura 2-1: Marco legal ecuatoriano para el manejo de residuos.
Fuente: (Fuentes, 2017)

Hay varios sectores de la sociedad que se involucran en el manejo de residuos sólidos, tanto privados como públicos, se requiere de un marco jurídico institucional que norme esta actividad. A continuación, se indica cada uno de los instrumentos jurídicos dentro del marco de esta competencia.

En la Constitución de la República del Ecuador, en el artículo 14 “reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*...” (Custode, 2017).

El artículo 264, dispone que los Gobiernos Municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determina la ley: Prestar los servicios de agua potable..., manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Custode, 2017).

En cuanto a las leyes, se encuentra:

La Ley de Gestión Ambiental, que establece los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje, reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas sustentables, respeto a las culturas y prácticas tradicionales (Custode, 2017).

La Ley de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, contempla disposiciones de prohibición de contaminación del aire, agua y suelo; cuyas fuentes potenciales de contaminación se describen en la misma Ley (Custode, 2017).

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), en el artículo 4, establece los fines de los gobiernos autónomos descentralizados; siendo uno de aquellos “...d) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable;...f) La obtención de un hábitat seguro y saludable para los ciudadanos” (Custode, 2017).

El artículo 55 ibídem delimita las competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal, siendo las de interés para el tema las que a continuación se detallan “...a) Planificar, junto con otras instituciones del sector público y actores de la sociedad, el desarrollo cantonal...d) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Custode, 2017).

En lo que respecta a Reglamentos y Acuerdos Ministeriales:

En el Acuerdo Ministerial No. 061, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), conforme al artículo 47 sobre las Políticas Nacionales de Residuos Sólidos señala que el Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional de gestión integral de los residuos sólidos en el país, como una responsabilidad compartida por toda la sociedad, que contribuya al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales, citado en el Ministerio del Ambiente en el año 2015. (M.A.E., 2015)

En su artículo 55 describe la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, como el conjunto de acciones y regulaciones con el objetivo de dar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más apropiado desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental, citado en el Ministerio del Ambiente en el año 2015 (M.A.E., 2015).

En este artículo se puede resaltar que se menciona las posibilidades de recuperación y aprovechamiento, así como de su comercialización. Además, entre otras acciones plantea la separación en la fuente, que sería realmente provechosa para los recicladores de base, para que los residuos recuperables no sean contaminados por otros tipos de desechos y aumenten su valor de comercialización (M.A.E., 2015).

En el artículo 57 se establecen las Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, dentro de las cuales en el literal b) establece la implementación de programas educativos para fomentar la cultura de la minimización de generación de residuos, separación en la fuente, reciclaje entre otros mencionados.

Además del literal d) establece el promover la instalación y operación de centros de recuperación de residuos sólidos aprovechables, con la finalidad de fomentar el reciclaje (M.A.E., 2015).

En lo que respecta a las Ordenanzas Municipales éstas varían de acuerdo al gobierno autónomo descentralizado de cada ciudad.

1.3 Tipos de tratamiento para la gestión de residuos

Se requiere planificar una adecuada gestión de los residuos donde se debe cumplir con tres propósitos que son la disminución de los residuos en la fuente, la aplicación de tratamientos con la finalidad de otorgar una calidad adecuada a los residuos, la planificación y control del destino y uso del producto (Valverde, 2015, p. 8).

Actualmente los residuos agroindustriales son considerados subproductos aprovechables, mismos que son sometidos a tratamientos para su uso; estos se fundamentan una serie de procesos que modifican las características fisicoquímicas o biológicas de los residuos; entre los principales usos de estos subproductos está la alimentación de animales de granja, el compostaje, vermicompostaje, la generación de biol, biogás, entre otros.

1.3.1 Abonos orgánicos

Son todos aquellos cuyo origen se obtiene de la mineralización y degradación de materiales orgánicos como estiércoles, pastos incorporados al suelo en estado verde, desechos de la cocina, etc. Estos se utilizan en suelos agrícolas con el propósito de incrementar y activar la actividad microbiana de la tierra, el abono es rico en materia orgánica, microorganismos y energía, pero bajo en elementos inorgánicos (Mosquera, 2010, p. 5).

1.3.1.1 Utilidad de los abonos orgánicos

El uso para los distintos los abonos orgánicos son cada vez más frecuentes en nuestro medio por distintas razones entre las cuales tenemos:

- El abono producido es de calidad y de bajo costo con relación a los fertilizantes químicos disponibles en el mercado.
- Pueden ser usados en cualquier tipo de cultivo.

- Aumentan las condiciones físicas del suelo como aireación y retención de humedad.
- Incrementa las condiciones biológicas del suelo, debido a la propagación de microorganismos benéficos.
- Se aprovechan residuos orgánicos que mal utilizados pueden contaminar el ambiente.
- Mejoran las condiciones químicas de los suelos pues suministran Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Hierro, Cobre, Manganeseo, Boro, Zinc, etc. (estos elementos aportados por los abonos orgánicos tienen un efecto más duradero para los cultivos que los aportados por los fertilizantes químicos) (Lomas, 2009, p. 159).

1.3.1.2 *Tipos de abonos orgánicos*

Entre los distintos tipos de abonos orgánicos tenemos el compost, abono fermentado bocashi, producción de humus proveniente de la lombricultura, biol, el té de estiércol. Los utilizados en este proyecto son el compostaje, co-compostaje, takakura y vermicompostaje.

- Vermicompostaje: Técnica la cual permite la reproducción de lombrices en cautiverio para producir humus sólido y líquido (ácido húmico); son ricos en macro y micro elementos además contienen una enorme carga microbiana, unos 2×10^5 millones por gramo. El resultado de esta técnica es el estado más avanzado en la descomposición de la materia orgánica (Luna, 2011, p. 2).
- Bocashi: Es un biofertilizante de origen japonés, su nombre significa fermentación. Se trata de un abono orgánico fermentado parcialmente, estable, económico y de fácil preparación. Es el producto de un proceso de degradación anaeróbica o aeróbica de materiales de origen animal y vegetal, el cual es más acelerado que el compostaje, permitiendo obtener el producto final de forma más rápida. El principal uso del bocashi es el mejoramiento del suelo ya que aumenta la diversidad microbiana y la cantidad de materia orgánica (Mosquera, 2010, p. 7).
- Biol: es un abono orgánico líquido obtenido de la fermentación anaeróbica de estiércoles de animales domésticos y follajes de plantas que aportan nutrientes o alguna acción de prevención contra plagas y enfermedades. Se lo puede utilizar como inoculante y repelente de ciertas plagas. Promueve la actividad fisiológica estimulando el crecimiento vegetativo de las plantas cultivadas (Perez Luis, 2012, p. 13).

- Té de estiércol: Es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido. Durante este proceso el estiércol suelta sus nutrimentos al agua y así se hacen disponibles para las plantas, este abono es rico en potasio, principal nutriente que aporta al suelo (Mosquera, 2010, p. 19).
- Compostaje: Es un proceso de descomposición biológico con presencia de aire (aerobio), el mismo que genera energía, donde una parte de la fracción orgánica de los residuos se convierte en dióxido de carbono (CO₂) y agua, por la acción de los microorganismos sobre el mismo (Acosta, 2005, p. 36).

1.4 Compostaje / Co Compostaje

El compostaje es una técnica biotecnológica basada en la degradación oxidativa como resultado de una combinación de residuos orgánicos y de la presencia de oxígeno, que se produce en un rango de temperatura termofílica, el proceso da como producto final el bioabono denominado compost; el cual no contiene patógenos, posee estabilidad granular, se puede utilizar como abono orgánico para ayudar a mejorar las características biológicas y fisicoquímicas del suelo. En el transcurso del tratamiento se necesita la presencia de oxígeno pues el proceso se ve beneficiado por las transformaciones fisicoquímicas y/o biológicas de tipo aeróbico (Moreno, 2008, pág. 245).

El co-compostaje se define como la mezcla de dos o más residuos los mismos que pueden ser materias orgánicas como estiércoles de animales, residuos agroindustriales y residuos domiciliarios, éstos fomentan su degradación y descomposición hasta obtener un producto final el cual se usa para fertilizar y enriquecer los suelos de los cultivos. Este abono y la materia orgánica dan cuerpo a los suelos arenosos y ligeros y mejora el drenaje en los suelos arcillosos. La elaboración de este abono demanda de prácticas de higiene por lo que se recomienda que las pilas se encuentren en un lugar cubierto y con ventilación (Perez Luis, 2012, p. 11). Es importante la acción microbiana pues ayuda en la descomposición de una mezcla de materias orgánicas ricas en carbono y otras ricas en nitrógeno. Se debe tener claro que los microorganismos (hongos, bacterias, levaduras) responsables de las transformaciones bioquímicas son aeróbicos, por lo tanto, la aireación constituye un factor crítico, y el tiempo en la producción de compost variará dependiendo de la aireación o movimiento del montículo. A mayor movimiento, se oxigena la mezcla y el tiempo se acortará, por el contrario, si no movemos el montículo no se oxigena en forma apropiada y el tiempo que se necesitará para obtener el compost será mayor (Garro, 2016, p. 27).

1.4.1 *Sistemas de Compostaje*

1.4.1.1 Sistemas abiertos

El sistema se realiza en pilas con un tamaño relativamente pequeño de 1,5 m de alto y 2-3 m de ancho, se considera un proceso lento presentando valores variables de oxígeno que van a depender de la compactación de los residuos orgánicos.

1.4.1.2 Compostaje en pilas estáticas con ventilación forzada

En el interior de la pila se dispone de tubos perforados, los cuales están conectados a un ventilador que asegura la entrada de oxígeno a la pila, obteniendo la cantidad de oxígeno necesaria.

La aportación de oxígeno puede darse de forma continua o por intervalos dados por un termostato el cual realiza un control de la temperatura y dispone la inyección de oxígeno conforme las necesidades del proceso.

1.4.1.3 Pilas por volteo

Este resulta ser un sistema sencillo y económico, por esta razón es de los sistemas más utilizados. La pila de compostaje se voltea manualmente en períodos de 10 a 15 días, también depende de los valores de temperatura que reporte la pila. La técnica del volteo principalmente ayuda a: a) homogenizar el sustrato b) dotar de oxígeno necesario a los microorganismos presentes c) controlar la humedad y la temperatura. Después de cada volteo los valores de temperatura subirán e irán bajando gradualmente hasta el próximo volteo si la temperatura no sube es un indicativo que el proceso ha finalizado (Aibar *et al.*, 2000, p. 13).

1.4.1.4 Sistemas cerrados:

Son sistemas que permiten un mejor control de los parámetros operacionales y obtención de enmiendas orgánicas de calidad en menor tiempo, el problema son los altos costos de inversión para obtener los equipos necesarios y las instalaciones (Andalucía Luz, 2000, p. 17).

1.4.1.5 Reactores de flujo vertical

Son de gran tamaño superando los 4 metros de altura, tienen características de operación continua o discontinua y se complementan con sistemas de ventilación forzada o volteo mecánico hacia pisos menores. El principal problema de estos sistemas es el costo de inversión.

1.4.1.6 Reactores de flujo horizontal:

Estos reactores están formados por un cilindro en su interior el cual suele estar en diámetros de 2 a 3 m y giran a una velocidad de 2 rpm tratándose de un tratamiento continuo el cual dura entre 24 y 36 horas.

1.4.2 Bioquímica del compostaje.

La descomposición de materia orgánica es producida por los microorganismos presentes en cada una de las etapas del proceso de compostaje, a partir de diferentes reacciones de óxido reducción en un proceso llamado mineralización, que es la transformación de moléculas orgánicas en compuestos inorgánicos como el CO₂, NH₃, catalizado por componentes de naturaleza proteica llamadas enzimas que actúan a nivel intracelular y extracelular (Sztern y Pravia, 2009, p. 17).

El principal componente de la materia vegetal son los carbohidratos y la lignocelulosa compuesta por macromoléculas de azúcares llamados celulosa, hemicelulosa y lignina, los porcentajes presentes en la biomasa varían dependiendo del tipo de vegetales, la degradación de compuestos ricos en lignocelulosa involucra la obtención de azúcares pentosas o hexosas (Grijalva, 2013, p. 3).

Durante las primeras etapas del compostaje se ha demostrado la actividad de bacterias y hongos los cuales degradan la celulosa mediante enzimas llamadas celulasas para obtención de compuestos más simples, la hemicelulosa formada por azúcares de 5 y 6 carbonos es degradada por exoenzimas o endoenzimas que producen cortes en los extremos y en la mitad de la molécula (Grijalva, 2013, p. 3).

La lignina está en mayor porcentaje en los residuos vegetales siendo su importancia como compuesto estructural, por esta razón es un polímero de elevado peso molecular y complejidad química, siendo de vital importancia su degradación a compuestos más simples de mineralizar (Grijalva, 2013, p. 3).

1.4.3 *Etapas del compostaje*

Las diferentes etapas en el proceso del compostaje se dividen según la temperatura en:

1.4.3.1 *Etapa Mesófilas (10 – 40°C)*

El material utilizado inicia el proceso de compostaje a temperatura ambiente y al pasar los días o incluso en horas después de iniciado el proceso la temperatura reporta un incremento de hasta los 45°C. Esta subida de temperatura se debe a la actividad microbiana, puesto que en esta etapa los microorganismos hacen uso de las fuentes sencillas de C y N produciendo calor. La descomposición de compuestos solubles, como son los azúcares, da como resultado la obtención de ácidos orgánicos, causando un descenso en la escala de pH que varía de 4 – 4,5. Esta etapa puede mantenerse entre dos y ocho días (Roman, Martínez y Pantoja, 2013, p. 23).

1.4.3.2 *Etapa Termófila o de Higienización (40 – 75°C)*

En esta etapa el material alcanza temperaturas superiores a los 45°C, por tal razón los microorganismos mesófilos que se desarrollan a temperaturas medias son sustituidos por bacterias termófilas que crecen a mayores temperaturas, y que tienen la capacidad de degradar fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Tales microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco provocando un incremento en el pH del medio. Es importante mencionar que a partir de los 60°C surgen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, mismas que se encargan de la descomposición de las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta etapa puede perdurar unos días o extenderse hasta algunos meses, dependiendo del material de partida utilizado y las condiciones climáticas del lugar, entre otros factores. Esta fase también recibe el nombre de etapa de higienización debido a que el calor generado elimina bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* De la misma forma temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de inicio, dando como resultado un producto higienizado (Roman, Martínez y Pantoja, 2013, p. 23).

1.4.3.3 *Etapa de Enfriamiento o Mesófilas II.*

Esta etapa permite apreciar como las fuentes de carbono y en especial de nitrógeno van disminuyendo del material de compostaje, haciendo que la temperatura descienda de nuevo hasta los 40-45°C. Durante esta fase, el proceso de degradación de polímeros como la celulosa continúa, y emergen algunos hongos visibles a simple vista. Al disminuir la temperatura hasta 40°C, los

microorganismos mesófilos aparecen de nuevo en el proceso y reinician su actividad, haciendo que el pH del medio descienda levemente hasta mantenerse ligeramente alcalino. Esta etapa de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Roman, Martínez y Pantoja, 2013, p. 24).

1.4.3.4 *Etapa de Maduración*

Durante la etapa de maduración la actividad microbiana se reduce significativamente disminuyendo así la temperatura de la pila de compostaje, llegando a mantenerse en valores de temperatura ambiental incluso después de haber realizado el volteo correspondiente, este un indicativo de que el proceso está en fase de estabilización en el cual ocurrirá reacciones de polimerización para la obtención de ácidos húmicos y fúlvicos produciéndose un compost maduro y listo para usarse como enmienda agrícola, dependiendo de sus características de calidad (López *et al.*, 2015, p. 93).

1.4.4 *Microorganismos presentes en el proceso de compostaje*

Los microorganismos que se pueden encontrar durante el proceso del compostaje en todas sus etapas son muy complejos, pues hay varios hongos, virus y bacterias que se encuentran de manera activa en todas las fases del compostaje, su presencia se determina de acuerdo a las propiedades de la materia orgánica, pH, entre otros. El tipo de microorganismos que se pueden encontrar se determina en función a las condiciones ambientales y nutricionales que tiene la pila en un determinado momento, esto se complementa con la capacidad que poseen de persistir a las condiciones existentes (Porrás, 2011, p. 23).

Los microorganismos pueden influir de forma positiva o negativa. La existencia de microorganismos indeseables es identificada por la presencia de malos olores. Hay que enfatizar, que los microorganismos que se tiene la expectativa que prevalezcan, sean los que tengan la capacidad de descomponer, en presencia de oxígeno, la materia orgánica, compitiendo de manera directa con los patógenos (Porrás, 2011, p. 23).

Estas reacciones se realizan bajo condiciones óptimas durante un periodo determinado y relativamente corto. La transformación microbiana de la fracción orgánica es una oxidación aerobia, de forma que la relación superficie/volumen de las partículas y la relación aire/agua en el espacio entre partículas, tiene una influencia directa en el proceso. Los procesos modernos de compostaje se realizan a intervalos de temperatura mesofílicos y termofílicos. Aunque se considera que los microorganismos mesófilos son más eficaces para la descomposición de la

materia orgánica, las temperaturas más altas favorecen la eliminación de potenciales patógenos vegetales y animales, y la muerte de semillas de malas hierbas que podrían ser perjudiciales en el uso posterior del producto final (Laich, 2011, p. 1).

La adición de compost al suelo introduce una alta variedad de microorganismos implicados en el ciclo de diferentes nutrientes y en procesos de biocontrol de fitopatógenos. Asimismo, cabe destacar el rol que cumple el agregado de compost en la recuperación de suelos, cuya microbiota ha sido afectada por la adición repetitiva de determinados compuestos fitosanitarios. En este caso el compost contribuye a la “reinoculación” de microorganismos implicados en el ciclo de los nutrientes. (Laich, 2011, p. 1).

En el proceso de compostaje, se lleva a cabo una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos capaces de degradar o descomponer una materia orgánica compleja. La descripción de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje es complicada, debido a que las poblaciones y las comunidades varían continuamente en función de la evolución de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua, pH, etc. (Laich, 2011, p. 2).

En el caso de realizarse una correcta y continua aireación, la fase termófila continúa hasta que la producción de calor es inferior a la disipación de éste, debido al agotamiento de los compuestos fácilmente metabolizables. Una amplia diversidad de microorganismos conforma las poblaciones mixtas del proceso de compostaje. Las más importantes son bacterias, Actinomicetos y hongos filamentosos. Las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, y constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existente en el compost (Laich, 2011, p. 2).

1.4.5 *Parámetros de control en el proceso de compostaje*

1.4.5.1 *Temperatura*

La temperatura es uno de los parámetros más importantes en el proceso de compostaje, ya que a partir de ésta los distintos consorcios microbianos realizan la degradación de la materia orgánica en cada momento, tomando en cuenta que la actividad metabólica y crecimiento; afecta a la cinética de la degradación y determina la higienización al finalizar el proceso de compostaje (Jara, 2016, pág. 23)

Debido al incremento de la temperatura, estamos en la capacidad de juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso de compostaje, puesto que existe una relación directa

entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica, como también entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta, teniendo en cuenta que algunas veces el mantenimiento de temperaturas muy elevadas inhibe la actividad de los microorganismos (Bueno y Diaz, 2008, p. 2).

Por tal motivo es preciso llegar a un equilibrio entre la higienización y la biodegradación, considerando que la mayor diversidad microbiana se alcanza entre los 35 y 40°C, la máxima biodegradación entre los 45 y 55°C, y la higienización cuando se excede de los 55 °C (Barrena, 2006, p. 39).

Se debe tomar en cuenta que el proceso inicia a temperatura ambiente. Posteriormente comienza la degradación de la materia orgánica debido a la acción de los microorganismos, provocando de esta manera un aumento gradual en la temperatura a medida que pasan los días, permitiendo de esta manera reconocer las 3 fases más importantes en el proceso de compostaje como son la Mesófila, termófila y de enfriamiento (Jara, 2016, pág. 23).

1.4.5.2 *Humedad y Porosidad*

La cantidad de agua que existe en el material a compostar es imprescindible, debido a que los microorganismos únicamente pueden utilizar las moléculas orgánicas si están disueltas en agua, permitiendo así, la migración y colonización microbiana (Barrena, 2006, p. 41).

Se debe tomar en cuenta que si la humedad es baja, el proceso de compostaje disminuirá su velocidad, llegando en algunos casos a suspenderse. De la misma manera la actividad biológica comenzará a disminuir cuando los niveles de humedad circunden el 40 % y cesará, casi en su totalidad, cuando esté por debajo del 20 %. Por otro lado, una humedad alta que presente una incorrecta porosidad originará una disminución en la transferencia de oxígeno, provocando una escasa demanda metabólica que reducirá la actividad microbiana aeróbica, dando lugar a la aparición de malos olores, la generación de lixiviados y la pérdida de nutrientes. El rango óptimo de humedad se encuentra entre un 40-60%, el mismo que puede variar en función de la naturaleza del material (Barrena, 2006, p. 42).

A medida que avanza el proceso de compostaje el contenido de humedad irá disminuyendo, lo cual indica el correcto funcionamiento del proceso. Cabe recalcar, que al mantener una humedad adecuada para la supervivencia de los microorganismos, al concluir el proceso de compostaje se tiene que asegurar que la humedad haya disminuido lo suficiente, permitiendo de esta manera que el producto obtenido se maneje de una mejor manera (Barrena, 2006, p. 42).

Por otro lado, la mezcla de diferentes tipos de residuos permitirá obtener un producto con la textura y la humedad necesarias. Los residuos orgánicos, por su naturaleza, presentan un elevado contenido de humedad, por tal motivo son mezclados con otros materiales que son llamados estructurantes (restos de poda, jardín, etc.), mismos que se encargaran de impedir la compactación a lo largo del proceso de compostaje. Igualmente los residuos de la industria maderera que aparte de actuar como estructurante de la mezcla, pueden proporcionar la porosidad necesaria y absorber parte de la humedad en exceso que pueda presentar el residuo (Barrena, 2006, p. 42).

1.4.5.3 *Potencial de hidrógeno*

En el proceso de compostaje el pH tiene una influencia directa en la dinámica de la actividad de los microorganismos, por tal razón esta variable indica el avance que ha tenido el compostaje en sus tres fases. Al iniciar la fase mesófila inicial se presenta una disminución del pH debido a la actividad microbiana sobre la materia orgánica, produciéndose la liberación de ácidos orgánicos, y en mayor cantidad siempre y cuando existan condiciones anaerobias en el proceso. La segunda fase da paso a la alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos formados en primera instancia y a la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. Para terminar, en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad permitiendo la formación de compuestos húmicos (Bueno y Diaz, 2008, p. 3)

Existe una dependencia entre los cambios de aireación y el pH de la composición, por tal razón una correcta aireación durante las tres fases del compostaje, permite obtener un producto estabilizado con pH entre 7 y 8; en donde valores por debajo de este rango indican condiciones anaerobias o que el material aún no está maduro. Sin embargo existen algunos estudios que hablan acerca de las relaciones pH aireación-microorganismos en el proceso, en donde distintos trabajos realizados concluyen que la descomposición orgánica se inhibe a pH bajos, mientras que si se mantiene por sobre los 7,5 indica una correcta descomposición orgánica por parte de los microorganismos (Bueno y Diaz, 2008, p. 3).

1.4.5.4 *Aireación*

Durante esta etapa es necesaria la disponibilidad de oxígeno suficiente para que los microorganismos aerobios puedan realizar correctamente su trabajo. Al momento de conformar las pilas de compostaje es importante mencionar que el oxígeno llega en distintas proporciones a las diferentes partes de la pila, siendo la parte externa la mayor beneficiada (18-20%); hacia el interior de la pila el contenido de oxígeno es indirectamente proporcional al dióxido de carbono, es decir

mientras la una variable disminuye la otra aumenta, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2%. Si al proceso no llega el contenido de oxígeno suficiente, esto permitirá que los microorganismos anaerobios reemplacen a los aerobios dando lugar a una baja descomposición de la materia orgánica, como también a la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores. De igual manera una excesiva aireación permitirá a los microorganismos disminuir su actividad microbiana induciendo a un enfriamiento y desecación en el proceso. Por tal motivo la aireación se la considera una variable de control muy importante que si bien requiere de equipos costosos, no es un impedimento para que pueda realizarse a través de las medidas de temperatura y humedad (Gordillo, 2017, p. 80).

Al momento de llegar a la etapa de maduración es importante recalcar que por ningún motivo se deben realizar aportaciones adicionales de oxígeno, debido a que podrían consumirse los compuesto húmicos formados (Gordillo, 2017, p. 80).

1.4.5.5 *Sustrato*

1.4.5.6 *Tamaño de la partícula:*

El tamaño inicial de las partículas que conforman la masa a compostar es una importante variable para la optimación del proceso, ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción (Bueno y Diaz, 2008, p. 5).

Diferentes estudios han revelado que si bien es cierto al moler el material obtenemos un tamaño de partícula pequeño que permite a los microorganismos asimilar de mejor manera la materia orgánica, también implica la disminución de espacio entre las partículas, aumentando la fuerza de fricción entre ellas y produciendo que haya un menor transporte de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior impidiendo la proliferación microbiana. Es por eso que no es recomendable un producto muy fino debido a que el material puede sufrir una compactación. Las dimensiones consideradas óptimas son diferentes de acuerdo al criterio de cada autor variando entre 1 y 5 cm, hasta 2,5 y 2,7 cm (Bueno y Diaz, 2008, p. 5).

1.4.5.7 *Relación C/N*

Este parámetro es muy importante para conseguir un equilibrio entre los diferentes nutrientes, especialmente entre el Nitrógeno (N) y el Carbono (C).

Generalmente, los residuos ya aportan suficientes nutrientes y oligoelementos, pero se ha de asegurar la presencia de aquellos que se necesitan en más cantidad, como es el caso del carbono y el nitrógeno. Estos dos elementos han de encontrarse en una proporción adecuada para evitar que el proceso sea más lento en relaciones C/N altas, o para evitar la pérdida de nitrógeno en el caso de C/N bajas. Se estima como relación C/N óptima valores entre 25 y 35, pues se considera que los microorganismos utilizan de 15 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno. La relación C/N tiene importancia en las condiciones de inicio del proceso de compostaje y en su cinética, así como en el desarrollo de las fases de descomposición y maduración (Barrena, 2006, p. 44).

La relación C/N de un residuo se puede ajustar mezclando con otro residuo de características complementarias. Puede ser el mismo agente estructurante utilizado para acondicionar la mezcla, o un material de composición complementaria para corregir la relación (Barrena, 2006, p. 44).

La relación C/N eficaz para un compost maduro debe estar cercana a 10, es decir parecido al del humus. De manera general se puede decir que un compost es maduro o estable cuando la relación C/N es menor a 20, pero cabe mencionar que esta es una condición que se la considera como indispensable pero no es suficiente. Si existe una relación C/N baja en los productos que serán compostados (inferior a 18-19), el proceso de compostaje se lo realiza con mayor velocidad, pero se elimina como amoníaco el excedente de N, esto ocasiona que se dé una autorregulación de la relación C/N, esta pérdida no afectan de manera negativa al proceso de compostaje, pero es un derroche, debido a que el N es considerado como un nutriente esencial dentro de los cultivos, además de ser un problema medioambiental (Bueno y Diaz, 2008, p. 6).

1.4.5.8 *Nutrientes*

La calidad del compost obtenido está relacionada con la cantidad de nutrientes que posea. Por tal motivo desde que inicia el proceso los microorganismos se encargan de transformar los compuestos más complejos en simples para que puedan ser aprovechados y asimilados de mejor manera por los mismos (Bueno y Diaz, 2008, p. 6).

Entre los elementos que componen el sustrato destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha

demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de N. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Bueno y Diaz, 2008, p. 6).

Además de C, N y P existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Bueno y Diaz, 2008, p. 6).

1.4.6 *Propiedades del compost*

El compost en la actualidad es muy utilizado debido a sus múltiples beneficios y propiedades para el suelo, entre las cuales tenemos:

1.4.6.1 Propiedades Químicas:

- Aumento de la disponibilidad de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe) y azufre (S).
- Incremento de la eficiencia de fertilización.
- Estabiliza el pH del suelo, es decir el índice de acidez del suelo.
- Aumenta los macro y micronutrientes.
- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.

1.4.6.2 En sus propiedades físicas:

- Incentiva la actividad microbiana.
- Actúa como soporte y alimento de los microorganismos.
- Incremento de la capacidad de retención de humedad.
- El compost adopta un color oscuro (marrón oscuro o negro).
- Retiene energía calorífica.
- Mejora de la porosidad, permeabilidad y aeración del suelo.
- Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.

1.4.6.3 En sus propiedades biológicas:

- Reduce la erosión del suelo.

- Incremento de la capacidad de retención de humedad.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, etc. se incrementa y diversifica la flora microbiana.

A continuación, se indica la composición ideal del compost (Gutierrez, 2010):

- Humedad 40 - 45 %
- Nitrógeno, como N₂ 1,5 - 2 %
- Fósforo como P₂O₅ 2 – 2,5 %
- Potasio como K₂O 1 – 1,5 %
- Relación C/N 10 – 11
- Ácidos húmicos 2,5 - 3 %
- pH 6,8 – 7,2
- Carbono orgánico 14 - 30 %
- Calcio 2 - 8 %
- Magnesio 1 – 2,5 %
- Sodio 0,02 %
- Cobre 0,05 %
- Hierro 0,02 %
- Manganeso 0,06 %

1.4.7 *Legislación para procesos de compostaje.*

1.4.7.1 Marco Legal para la utilización agrícola del compost

De acuerdo con los artículos citados sobre el manejo y disposición de los residuos sólidos, es necesario aclarar que en Ecuador no se dispone de normativas vigentes para la realización de abonos orgánicos, por lo tanto, es necesario recurrir a normas internacionales para determinar los límites permisibles de metales pesados, patógenos, vectores entre otros.

Según el Real Decreto 06/2013 destinado a fertilizantes, clasifica a los compost en tres grupos diferentes en base a la concentración máxima permisible de ciertos parámetros y metales pesados estableciendo las siguientes categorías:

Compost clase A:

Es un producto fertilizante el cual se ha obtenido a través de un proceso de humificación, el mismo que es de alta calidad por lo cual puede ser aplicado directamente sobre el suelo (Instituto Nacional de Normailización, 2003, p. 7).

Compost clase B:

Es un producto fertilizante que a pasar de ser obtenido mediante un proceso de humificación presenta algunas limitaciones para su uso directo, por lo cual para su aplicación requiere ser mezclado con otros elementos (Instituto Nacional de Normailización, 2003, p. 8).

Compost inmaduro o sub estándar:

Cuando la materia orgánica que ha pasado por las etapas Mesofílicas y termofílica del proceso de compostaje, donde ha sufrido una descomposición inicial, pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración necesarias para obtener un compost Clase A o Clase B. Es un producto que se debe mezclar para ser aplicado para no producir hambre de nitrógeno (Instituto Nacional de Normailización, 2003, p. 8).

Tabla 1-1: Límites máximos de metales pesados y polifenoles para considerar un buen compost en base a la Norma Chilena.

Metal pesado		Límites de concentración	
		Sólidos: mg/Kg materia seca	
		Clase A	Clase B
Limitaciones en la aplicación agrícola	Sin limitación conocida	Sin limitación conocida	Sin limitación conocida
Cadmio	2		8
Cromo (total)	120		600
Cobre	100		1000
Mercurio	1		4
Níquel	20		80
Plomo	100		300
Zinc	200		2000

Fuente: (Instituto Nacional de Normailización, 2003)

Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven, 2019.

1.4.7.2 Normativa ecuatoriana

El Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador – MAGAP dentro de su Instructivo de la normativa general para promover y regular la producción orgánica - ecológica - biológica en el Ecuador en su Artículo 18. De la fertilidad del suelo y nutrición de las plantas señala que:

- h) Para la activación del compost podrán utilizarse preparados adecuados a base de plantas o preparados de microorganismos. No se permite el uso de materiales no incluidos en el Anexo 2 en compost o enmiendas (MAGAP, 2013, p. 46).
- i) Se recomienda para el compostaje del estiércol el seguir cualquiera de los siguientes procedimientos para reducir el riesgo de contaminación microbiológica en el producto final:
 1. Se aplique estiércol sin procesos de compostaje para productos no destinados al consumo humano (MAGAP, 2013, p. 46).
 2. Se aplique estiércol sin procesos de compostaje 90 días antes de la cosecha en el caso de productos que no tengan contacto con el suelo y 120 días antes de la cosecha para productos cuya parte comestible tenga contacto con el suelo (MAGAP, 2013, p. 46).
 3. El estiércol se someta a un proceso de compostaje en donde se garantice y registre que la relación C:N de las materias primas se encuentre dentro del rango de 25:1 a 40:1, que a lo largo del proceso de compostaje se den 5 volteos y al menos durante 5 semanas se mantenga dentro de un rango de temperatura de 55°C a 76°C (MAGAP, 2013, p. 46).
 4. El estiércol fresco sea tratado de forma de que todo el producto, sin causar combustión, alcance una temperatura de 66°C por al menos 1 hora o de 74°C, y que sea deshidratado a un máximo de humedad del 12% o sometido a un proceso de deshidratación equivalente.
 5. El compost sea sometido a cualquier proceso equivalente cuyos resultados microbiológicos no sobrepasen los 1000 NMP (número más probable) de coliformes fecales por gramo de estiércol procesado y no más de 3 NMP de *Salmonella* por cada 4 gramos de estiércol procesado (MAGAP, 2013, p. 46).

Dentro del Anexo I de Fertilizantes y acondicionadores de suelo, se menciona al compost en los siguientes apartados:

Tabla 2-1: Apartados del anexo 1

Residuos domésticos compostados o fermentados	<p>Producto obtenido a partir de residuos domésticos separados en función de su origen, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Únicamente residuos domésticos vegetales y animales. - Únicamente cuando se produzcan en un sistema de recogida cerrado y vigilado, aceptado por el estado miembro. - Concentraciones mg/kg de materia seca: cadmio: 0,7; cobre 70; níquel: 25; plomo:45; zinc: 200; mercurio: 0,4; cromo total: 70; cromo VI : 0
Mezclas de materias vegetales compostadas o fermentadas	Producto obtenido a partir de mezclas de materias vegetales, sometidos a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás

Fuente: (MAGAP, 2013, p. 159)

Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven, 2019.

1.5 Takakura

Este método fue llamado así por el Sr. Takakura experto en compostaje, quien contribuyó a desarrollar el método en la ciudad de Surabaya – Indonesia; el método es seguro y económico debido a que sólo se requieren materiales disponibles del ambiente.

En este método las materias orgánicas son sometidas por medio de un cultivo de microorganismos nativos que se adaptan al suelo, los mismos que generalmente están disponibles en el ambiente natural, además sirven para combatir los microorganismos patógenos. El uso efectivo de los microorganismos fermentativos posibilita la producción de una gran cantidad de compost en espacios pequeños y en períodos de tiempo corto, los microorganismos fermentativos se adaptan perfectamente al compost ya que estos existen en nuestros alrededores (Gomez, 2015, p. 1).

1.5.1 *Microorganismos fermentativos*

Para prevenir la putrefacción es necesaria la aplicación de una gran cantidad de microorganismos fermentativos e inducir el proceso de fermentación deseado. Para que se produzca una buena fermentación la cantidad de microorganismos fermentativos debe ser mayor que la de la putrefacción; si la cantidad es menor se produce la putrefacción causando malos olores. Para el

compostaje no se requieren microorganismos fermentativos especiales, salvo aquellos microorganismos nativos.

Alguno de los microorganismos fermentativos de buena calidad se puede encontrar en las siguientes sustancias o lugares:

- Alimentos fermentados: yogurt, soja fermentada, salsa de soja no refinada, vino local, hongos, células de levadura, etc.
- Tierra vegetal: La tierra vegetal recolectada en la naturaleza es más efectiva que los comercialmente disponibles.
- Campos de cultivo orgánico
- Otros materiales naturales como afrecho de arroz, cascarilla de arroz, paja, pasto, árboles podridos, etc.

1.5.2 ¿Cómo se debe tratar el compost Takakura?

- Se debe mezclar el compost todos los días
- Regular la cantidad de agua en la tierra: cuando hay demasiada agua en el compost no se puede descomponer y sale olor desagradable
- Picar la materia orgánica
- Mantener la temperatura entre 40 a 50°C
- Mantener la cantidad de agua entre 60 a 80%



Figura 3-1: Proceso de compostaje takakura
Realizado por: (Lopez, 2016)

Un suelo requiere además de los constituyentes minerales como son arena, limo y arcilla, una fracción orgánica constituida por abono. En el abono orgánico se encuentran enzimas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, que permiten mejorar la estructura del suelo, dando origen a estructuras granulares uniformes que permiten un óptimo desarrollo radicular; mejora del intercambio gaseoso; aumenta la oxidación de la materia orgánica y la disposición de nutrientes en formas asimilables y aumenta la retención de agua.

1.5.3 *Ventajas del método Takakura*

Las principales ventajas de este método destacan su rapidez ya que el proceso está terminado en una o dos semanas. El compostaje por lo general demora más de tres meses. Es muy fácil de realizar, su requisito único es sólo mezclar los materiales en un espacio pequeño. Es económicamente rentable pues la única maquinaria necesaria es la trituradora, se necesitan únicamente materiales disponibles en los domicilios (Kamiyamaguchi, 2010, p. 14).

1.6 Vermicompostaje

El manejo inadecuado de los residuos orgánicos puede contribuir a la propagación de enfermedades y tener impactos en el medio ambiente. Los residuos orgánicos de vermicompostaje podrían tener efectos beneficiosos generando una proteína de alimentación animal económicamente viable en forma de biomasa de lombrices, mientras se mejoran los efectos negativos de la mala gestión de los residuos orgánicos (Lalander, 2015, p. 96).

El vermicompostaje es una técnica la cual consiste utilizar de lombrices para la obtención de compost a partir de residuos de materia orgánica. Esta técnica se puede llevar a cabo en espacios reducidos, es ideal para pisos con o sin terrazas. Lo importante es favorecer las condiciones ambientales donde viven las lombrices de forma natural bajo el suelo, para así contribuir con su actividad y liberar los compuestos esenciales para ponerlos nuevamente a disposición de los cultivos. Las materias primas para el vermicompostaje son las mismas que para el compostaje, aunque con algunos matices referentes a las condiciones y contenidos necesarios para que las lombrices puedan llevar a cabo su metabolismo (Luna, 2011, p. 4).

1.6.1 *Ventajas del vermicompost*

- El vermicompost obtenido puede ser utilizado en los cultivos de forma rentable.
- Se reduce la cantidad de materia orgánica que podría ir al botadero.

- A gran escala, el vermicompostaje y el compostaje producen un gran ahorro debido a la gestión y residuos de los residuos a nivel municipal.
- El vermicompostaje puede incentivar la educación y concientización de la ciudadanía al momento de fomentar la separación en el origen.
- Se puede evitar para la tierra el uso indiscriminado de productos químicos.
- El humus obtenido es el responsable del enriquecimiento y aireación de los minerales existentes en el suelo.
- El humus obtenido es de alta calidad y poseen una estructura migajosa y estable, poseen riqueza en microorganismos y enzimas mismas que estimulan el crecimiento de las plantas y además restauran el equilibrio tierra - vegetal.

1.6.2 *Beneficios para las plantas.*

Los desechos sólidos municipales son adecuados para producir vermicompost porque contienen nutrientes mayores y menores en formas disponibles para las plantas, enzimas, vitaminas y hormonas de crecimiento de las plantas. Hormonas como las auxinas y ácidos húmicos se producen por la acción de los microorganismos. Sin embargo, las auxinas pueden reducir las tasas de crecimiento y desarrollo de las plantas cuando se aplican a altas concentraciones (Sim y Wu, 2010, p. 2158).

1.6.3 *La lombriz roja californiana - Eisenia foetida.*

La *Eisenia foetida*, comúnmente es conocida como lombriz roja de California, es la especie más utilizada del vermicompostaje. Entre sus características se sabe que es muy resistente, jovial, buena reproductora y muy voraz, de un tamaño de 7 a 10 cm de largo y de 3 a 5 mm de diámetro, posee cinco corazones, seis riñones, puede vivir 15 años, es hermafrodita imperfecta, es sexualmente adulta a los 3 meses y cada siete o diez días pone 1 huevo (Perez Luis, 2012, p. 2).

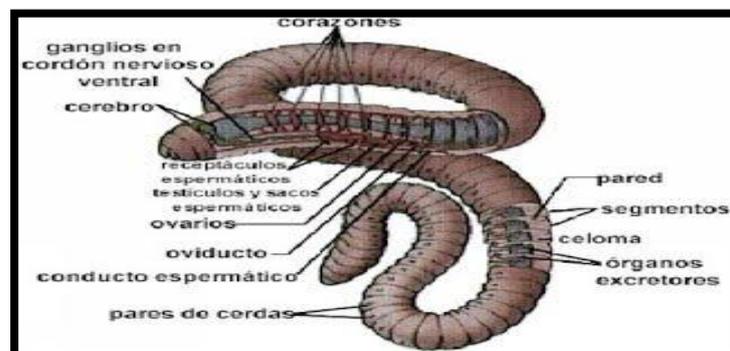


Figura 4-1: Morfología de la Lombriz roja californiana - *Eisenia foetida*.
Fuente: (Ortiz, 2019)

1.6.4 *Condiciones óptimas para las lombrices.*

- Privación de luz: viven debajo de la superficie del suelo, no soporta de buena forma la luz, se recomienda usar un depósito tapado.
- Humedad: el porcentaje de agua es conviene que no baje drásticamente, pues paraliza la actividad y puede reducir la población.
- Temperatura: la temperatura ideal debe ser de 20°C, sin embargo soportan temperaturas entre los 4-30°C; cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen con el proceso de abono, en menor cantidad.
- pH, no resiste a valores inferiores a 4.5, la acidez le disgusta; la toleran levemente.
- Alimentación: gustan de restos vegetales poco descompuestos que posean una relación C/N particularmente baja, los restos de frutas y verduras son ejemplos ideales para esta relación (Luna, 2011, p. 5).

1.6.5 *Materia orgánica ideal para el vermicompostaje*

Se debe tener en cuenta que, si los materiales no son apropiados, las lombrices pueden parar el proceso. Este parámetro es importante pues un error grave, puede ocasionar la pérdida de la población de lombrices. El carbono y el nitrógeno son ingredientes básicos, su disposición es fundamental para la rapidez del proceso. Cuando hay anomalías en este aspecto se puede desarrollar putrefacción, presencia de malos olores y sustancias como el amoníaco y ácido sulfhídrico. Estos compuestos son dañinos para las lombrices y microorganismos.

Se puede usar fibra celulosa para acondicionar el material haciéndolo más aireado y esponjoso. Una vez acabado el proceso, dejan finas migajas de fibra, la cual mejora las características del humus. Se sabe que las lombrices pueden alimentarse de cartón y papel, siendo los papeles no tratados los más adecuados; los residuos de vegetación seca contienen grandes proporciones de carbono (Luna, 2011, p. 8).

Pueden añadirse otro tipo de elementos como son:

- Cáscaras de huevos
- Café molido y bolsas de té.
- Pelos

Las cáscaras de huevos aportan calcio que siempre es ideal para las lombrices. Debe añadirse bien triturado para facilitar la absorción.

Bolsas de té usadas y café, en pequeñas cantidades pueden usarse como materia orgánica para las lombrices, se recomienda en pequeñas cantidades para no modificar gravemente el pH.

En uso pelo aunque provenga de animales domésticos y de granja se degradan con facilidad y no existe ningún problema de transmisión de enfermedades.

Es importante añadir materiales con diferente aporte de nitrógeno y carbono, pues es fundamental para obtener un buen resultado del vermicompostaje. Además mientras más fino sea el tamaño de los gránulos de la comida más alimento ingiere la lombriz.



Figura 5-1: Residuos iniciales y vermicompostaje
Fuente: (Sanchez, 2017)

Entre los materiales menos recomendables tenemos huesos de animales, carnes y pescados, heces de animales domésticos en especial carnívoros, queso, mantequillas y lácteos, aderezos, mayonesas, comidas preparadas con salsas, papel sanitario, plantas venenosas, acículas de pino, hojas frescas de roble y encinas, hojas de nogal y castaño (Luna, 2011, p. 11).

1.6.6 Problemas en el vermicompostaje

- Mal olor: cuando algún material está podrido no será ingerido por las lombrices porque les disgusta, otra razón puede ser su tamaño demasiado grande.
- Presencia de vectores: lo más común son las moscas debido a que se ha añadido material fresco o mucha fruta y no se ha tapado correctamente. También se puede hallar hormigas lo cual es un indicador de que puede estar muy seco. Se recomienda humedecer el medio.
- Falta de supervisión: las lombrices soportan un periodo de 28 días sin alimentación. Sin embargo, conviene dejar abundante comida y controlar la humedad, es recomendable

colocar botellas con agua boca abajo en el sustrato, para así liberar el líquido en pequeñas cantidades, cubrir el vermicompostador con telas húmedas.

- Población de lombrices disminuida: puede ocurrir por alguno de los problemas anteriores. Si la reducción ha sido drástica se debe a que se añadió algún material que no era de su agrado. Si fuese el caso debemos retirarlo, limpiar y añadir nuevo material fresco.

1.6.7 Características del vermicompost

El vermicompost posee gran cantidad de nutrientes y una estructura mejorada, por lo que se dice que es el mejor abono que se puede obtener. Además, contiene una elevada carga enzimática y diversidad microbiana que aumenta la solubilidad de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las raíces. La elevada acción microbiana del vermicompost hace asimilable para las plantas y determinados minerales como el fósforo, calcio, potasio, magnesio y oligoelementos. Resulta rico en elementos nutritivos y con fertilidad 5 a 6 veces más que con el estiércol común (Luna, 2011, p. 14).

El vermicompost es rico en nitrógeno y carbono orgánico. Las relaciones carbono: nitrógeno también se encuentran entre 15 y 18 (tabla 6-1). La relación C:N es un indicador de maduración del vermicompost (Singh *et al.*, 2011, p. 726).

El cuerpo de lombrices de tierra contiene 65% de proteínas, 14% de grasas, 14% de carbohidratos y 3% de ceniza (Singh *et al.*, 2011, p. 726).

Tabla 3-1: Parámetros físico químicos del Vermicompost.

	Parámetros	Valores
1	pH	6,8 – 7,5
2	Carbono orgánico	25,4 – 27,5 %
3	Nitrógeno	1.2 – 1.6 %
4	Relación C/N	15 – 18
5	Fosforo	0,3 – 0, %
6	Potasio	0,6 – 0,7%
7	Calcio	4,2 – 6,7 %
8	Magnesio	0,2 – 0,3%
9	Sulfuro	0,4 – 0,5 %

Fuente: (Singh *et al.*, 2011, p. 726)

Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven, 2019

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Zona de estudio

La presente investigación se realizó en la Hacienda Agroecológica de Totorillas y los análisis en los laboratorios de Biotecnología, Química Analítica, Química Industrial y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en los laboratorios de Agrocalidad adscritos al Ministerio de Agricultura y Centro de Servicios Técnicos y transferencia tecnológica Ambiental (CESTTA).

2.2 Diseño Experimental

2.2.1 *Tipo de la investigación*

La investigación es descriptiva porque permite medir variables e identificar las diferentes fases de los procesos. Longitudinal porque se recolectan datos y se miden valores a través del tiempo para controlar la evolución del proceso. Aplicativa porque propone dar una solución a la generación de residuos sólidos orgánicos mediante tratamientos biológicos.

2.2.2 *Unidad de análisis*

La unidad de análisis de la investigación corresponde a la fracción representativa de los residuos orgánicos provenientes de dos cantones que conforman la mancomunidad: Colta (48,44%), y Guamote (49,29%), debido a que la finalidad del proyecto se basó en tratar los residuos de naturaleza orgánica, mediante tratamientos biológicos para la obtención de abonos.

2.2.3 *Población de estudio*

La población de estudio corresponde a los residuos sólidos generados por la mancomunidad de Colta y Guamote.

2.2.3.1 *Tamaño de la muestra*

- Para los análisis iniciales se usó el método del cuarteo para obtener una muestra representativa de 2 Kg.
- Durante el desarrollo del proceso no se calculó el tamaño de la muestra ya que se trabajó con todas las muestras obtenidas, considerando un total de 7 muestras por cada unidad experimental (Compostaje, Co-compostaje, Takakura) y 3 muestras para la cuarta unidad experimental (Vermicompostaje), con un total de 24 muestras durante todo el proceso investigativo.

2.2.3.2 *Selección de la muestra*

El método utilizado para la recolección de las muestras fue el método del cuarteo, tomando 5 submuestras de diferentes partes de las unidades experimentales, con el fin de obtener una muestra representativa de 1 kilogramo para su respectivo análisis en el laboratorio.

2.2.4 *Técnicas de Recolección de Datos*

Para la recolección de datos se realizó lo siguiente:

- ✓ Análisis inicial de los parámetros nitrógeno total, potasio, fósforo, materia orgánica y humedad, correspondiente a la Unidad de Análisis.
- ✓ Controles de temperatura y porcentaje de humedad tres veces por semana.
- ✓ Muestreo durante el proceso de los distintos tratamientos en función de la temperatura.
- ✓ Análisis de laboratorio de las muestras.
- ✓ Registro y tabulación de los resultados.
- ✓ Comparación de los tratamientos biológicos con normativas de criterios de calidad.
- ✓ Análisis estadístico (ANOVA de un factor y prueba de Tuckey).

2.2.5 *Diseño experimental*

2.2.5.1 *Tipo de diseño*

Se aplicó un análisis de varianzas de un factor con cuatro tratamientos (ANOVA unidireccional), para conocer si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos realizados. Se consideró 4 tipos de tratamiento con residuos a compostar:

- T1 (Compostaje): residuos sólidos orgánicos
- T2 (Co-Compostaje): residuos sólidos orgánicos + paja
- T3 (Takakura): residuos sólidos orgánicos + compost semilla
- T4 (Vermicompostaje): residuos sólidos orgánicos + Lombrices

2.2.6 *Maquinaria, materiales, equipos y organismos utilizados en la elaboración y monitoreo de las pilas*

2.2.6.1 *Materia prima*

- Residuos orgánicos (Obtenidos de los botaderos del cantón Guamote y Colta)
- Paja
- Cascarilla de arroz

2.2.6.2 *Equipos*

- Termómetro de punción
- Higrómetro
- Medidor de PH
- Balanza

2.2.6.3 *Materiales*

- Machetes
- Palas
- Costales
- Botas de caucho
- Carretillas
- Azadón
- Fundas Ziploc
- Madera
- Clavos
- Tablas tríplex
- Serrucho
- Taladro

2.2.6.4 *Maquinaria*

- Trituradora

2.2.6.5 *Organismos*

- Lombrices (*Eisenia foetida*)

2.2.6.6 *Sustancias*

- Agua
- Fermentos dulces
- Fermentos salados

2.3 Técnicas

2.3.1 *Toma de muestra para análisis inicial*

Se recolectó por el método del cuarteo una muestra de los residuos orgánicos de los botaderos a cielo abierto de los cantones Colta y Guamote, con el fin de obtener una muestra representativa de 2 kg, para los respectivos análisis.

2.3.2 *Recolección y transporte de los RSU.*

Los RSO se tomaron la tercera semana del mes de mayo del 2018 de los dos botaderos a cielo abierto de los cantones Colta y Guamote. En total se recolectó 2,5 toneladas y fueron trasladados a la Hacienda Agroecológica de Totorillas ubicada en el cantón Guamote.

2.3.3 Triturado de Residuos Orgánicos



Figura 1-2: Triturado de residuos
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

Los residuos se trituraron mecánicamente para obtener el tamaño de partícula adecuado (1-5 cm). Posteriormente se homogenizó el material para ser distribuido a los distintos tratamientos.

2.3.4 Montaje de los Tratamientos Biológicos

Los tratamientos se realizaron en una estructura cubierta de la Hacienda Agroecológica de Totorillas, pues se dispone de facilidades como acceso al agua de riego y espacio suficiente para el triturado, armado y volteo de las pilas.

2.3.4.1 Compostaje

Se procedió a la acumulación de los RSO triturados para la formación de la pila de compostaje de una tonelada cuyas dimensiones fueron de 2,5 m de base por 2,0 m de ancho y 1,5 m de altura.



Figura 2-2: Armado de pila de Compostaje
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

2.3.4.2 Co-compostaje

1. La pila se elaboró colocando 850 kg de RSU y 150 kg de paja. Las dimensiones son un poco superiores a la pila de compostaje debido a la baja densidad de la paja.
2. Se colocó como base una capa de paja triturada y en capas los RSO en forma alternada.



Figura 3-2: Armado de pila de Co Compostaje
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

2.3.4.3 Takakura

1. El método Takakura se inició preparando 15 L. de solución salada en 2 recipientes que contenía principalmente hojas de hortalizas y cáscaras de frutas (uva, naranja, manzana, papaya, pepino, lechuga) y otros 15 litros de una solución dulce en 3 recipientes que contenían principalmente (yogurt, levadura, melaza). A continuación se indican las proporciones a utilizar para cada una de las dos soluciones:

Tabla 1-2: Cantidades para mezclas en fermento dulce y salado.

Soluciones Dulces		Soluciones Saladas	
Ingredientes	Cantidad	Ingredientes	Cantidad
Agua	4 L	Agua	4 L
Azúcar Morena	123 g	Sal	78 g
Yogurt	0,4 L	Frutas	1500 g
Levadura	23 g	Verduras	454 g
Melaza	0,5 L		

Fuente: (Ocampo, Gutiérrez, & Ramírez, 2017)
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

2. A las 2 soluciones se las dejó reposar durante 8 días.
3. Después de este tiempo, se filtró la solución salada con el propósito de colocar únicamente el líquido y no los residuos sólidos.
4. Para formar el compost semilla, se colocó 50 kg. de cascarilla de arroz y se mezcló con las soluciones salada y dulce respectivamente, adicionando harina, para que los microorganismos eficaces puedan alimentarse y desarrollarse de mejor manera. Al compost semilla se añadió hojarasca y tierra negra recolectados en la Hacienda Agroecológica de Totorillas.

Tabla 2-2: Proporciones de mezcla para el compost semilla

Compost Semilla	
Cascarilla de Arroz	50 kg
Tierra Negra	5Kg
Harina	2Kg
Hojarasca	1 Kg
Fermento Dulce	15 L
Fermento Salado	15 L

Fuente: (Ocampo, Gutiérrez, & Ramírez, 2017)

Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven, 2019

5. Luego de realizada la mezcla de todos los componentes, se ajustó el nivel de humedad recomendado en el Método Takakura, esto es entre el 40 y 60%.
6. Con el compost semilla se procedió a formar una pila y se la cubrió con una tela con el objetivo de evitar la contaminación por moscas y se dejó reposar durante 15 días.
7. Se procedió a mezclar el compost semilla con 300 kg de RSO previamente triturados.



Figura 4-2: Armado de pila de Takakura

Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven 2018.

2.3.4.4 Vermicompostaje

1. Se extrajo 60 kg de materia orgánica precompostada durante un mes, con el fin de permitir el desarrollo y la adaptación de la lombriz roja californiana, pues no es aconsejable colocar los residuos directamente a la compostera sin un tratamiento previo.
2. Se realizó la prueba de caja, donde se colocó 1 kg. de residuos precompostados, con 20 lombrices. Después de una semana se contabilizó las veinte lombrices iniciales comprobando que los residuos precompostados no eran tóxicos para el desarrollo de las mismas.
3. Se construyó una cama de madera de 1 m². La base de la cama tenía orificios para permitir la entrada de oxígeno y el control de la humedad.
4. Se colocó sobre la base de la cama 10 cm de tierra negra y se cubrió con 60 kg de materia orgánica precompostada.
5. Se agregó 1 kg que contenía humus con lombrices para iniciar el proceso.
6. Se tapó la cama con fundas plásticas para evitar la presencia de los depredadores y mantener la temperatura.



Figura 5-2: Armado de Cama para vermicompostaje
Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven 2018.

2.3.5 Control de proceso

- Elaboradas las pilas de compostaje, co-compostaje y takakura se controlaron los parámetros de: temperatura, pH y humedad tres veces por semana.
- El volteo se realizó en dependencia de la temperatura de la pila. Cuando la temperatura bajaba a 25 y 35 °C se procedió a realizar el volteo asegurando que exista una mezcla homogénea para una descomposición completa. Se tomó una muestra representativa de 1kg. para su análisis de laboratorio.
- La humedad se mantuvo en un rango del 50 -60 %.
- Durante la primera etapa de compostaje, la temperatura no alcanzó los niveles adecuados, debido posiblemente a las bajas temperaturas de la zona. Por esta razón, en el primer volteo se armó una base de paja sobre la que se colocaron los residuos. De esta manera se controló la acumulación de lixiviados y aumentó la actividad microbiana y consecuentemente la temperatura.
- El exceso de humedad en las pilas de compostaje y co-compostaje se controló con una aireación adecuada.



Figura 6-2: Control de pH, %H, T°.
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

2.3.6 Reactivación de Pilas de compostaje y de Co-compostaje

- Para incrementar la temperatura, fue necesario preparar inóculos microbianos. Se preparó 60 L. de mezcla distribuidos en 3 recipientes de 20 L respectivamente, siendo la composición de la mezcla la siguiente:

Tabla 3-2: Cantidades para elaboración de inóculo.

Inóculos	Volumen (L)
Gallinaza	0,5
Bovino	2
Compost Maduro	0,5
Agua	17
Total Inóculo	20

Fuente: (Guapulema, J 2017).

Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven, 2019.

- Se dejó fermentar durante 24 horas y se procedió a mezclar el inóculo en las pilas de Compostaje y Co-compostaje hasta una humedad del 80%.

2.3.4 Inicio de etapa de maduración

- Al finalizar la etapa Biooxidativa, comprobada por la estabilización de la temperatura, se realizó un volteo en cada uno de los tratamientos y se colocó en forma trapezoidal a una altura de 50 cm. Los tratamientos se monitorearon dos días a la semana (humedad y pH); durante 60 días.



Figura 7-2: Etapa de maduración.

Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de Resultados

3.1.1 Caracterización de los parámetros iniciales

Tabla 1-3: Caracterización físico- química

PARÁMETROS	UNIDAD	RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	PAJA
Materia Orgánica	%	81,02	83,49
Nitrógeno Total	%	1,62	1,23
Humedad	%	77,95	11,35
Fósforo Total	%	0,74	0,087
Potasio	%	2,48	0,97
Carbono Orgánico	%	44,03	45,38
pH		8,20	
Conductivida Eléctrica	dS/m	3,4	

Fuente: CESTTA, 2018

Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven, 2019.

La tabla1-7 indica la caracterización físico- química correspondientemente a la fracción representativa de los residuos orgánicos de los botaderos a cielo abierto de dos cantones que conforman la mancomunidad: Colta (48,44%), y Guamote (49,29%). Estos resultados son similares a los de la caracterización de los residuos orgánicos del mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba (Brito, 2016, p. 82) y del vertedero municipal de Guamote y el mercado de Colta (Jara, 2016, pág. 58).

3.1.2 Evolución de la temperatura

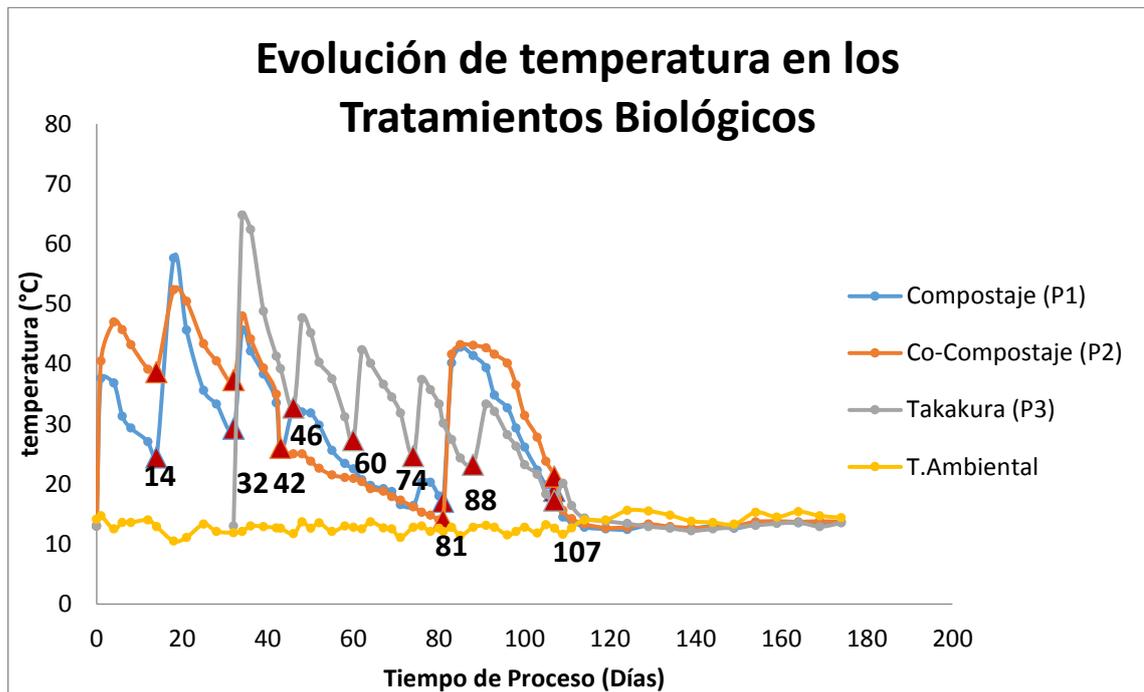


Gráfico 1-3: Evolución de temperatura.
Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven 2018.

Debido a la humedad de las pilas 1 y 2 durante los primeros días de tratamiento no se evidenció una rápida subida de la temperatura, posiblemente por la saturación de los poros que dificultan la entrada de oxígeno a la pila. Con el transcurso del tiempo, la temperatura fue subiendo hasta alcanzar valores máximos de 58°C, 52°C y 65°C en las pilas de compostaje, co-compostaje y Takakura respectivamente. El tratamiento con temperaturas más altas fue el Takakura (residuos orgánicos + cascarilla de arroz + fermentos dulces y salados) por la presencia de microorganismos y enzimas. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por (Apthapi, 2018, p. 1) en tratamientos de compostaje con activadores biológicos (leche, yogurt y levadura).

3.1.3 Evolución de la materia orgánica

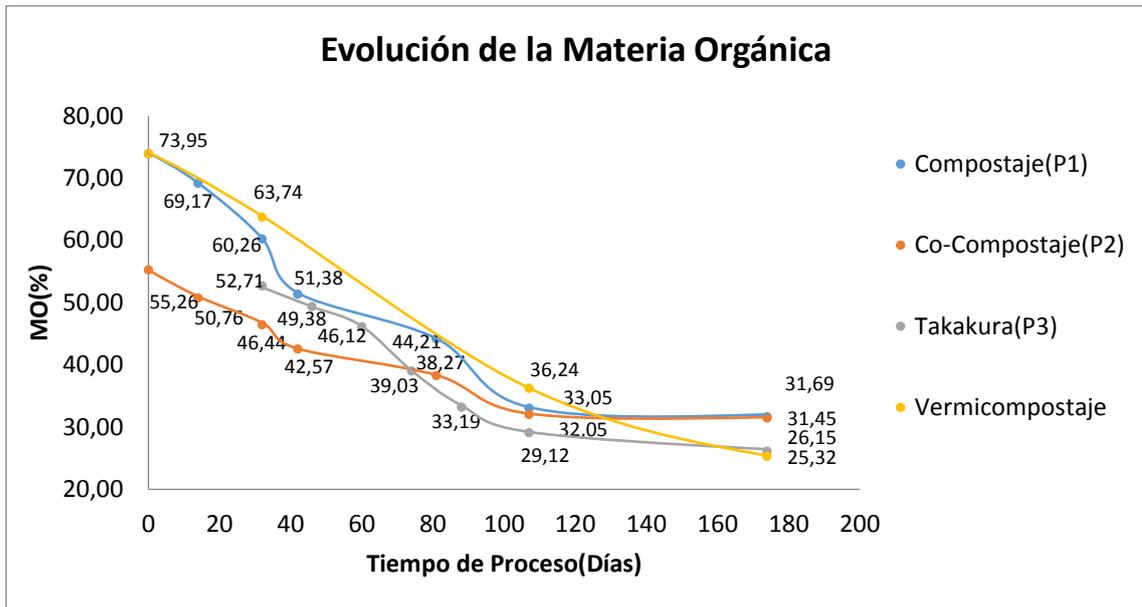


Gráfico 2-3: Materia orgánica
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

En las 3 pilas (compostaje, co-compostaje y Takakura) se registró un descenso significativo de materia orgánica, pues empezando con porcentajes de 73,95 55,26 y 52,71 para las pilas 1, 2 y 3 respectivamente, al final del proceso se tuvieron porcentajes de 31,69, 31,45, 26,15 y 25,32. La disminución de la materia orgánica sucedió principalmente en la etapa biooxidativa debido a que el proceso en esta fase alcanzó temperaturas altas que ayudaron a la mineralización de la materia orgánica, como también en el lapso que fueron añadidos los inóculos microbianos a los tratamientos compostaje y co-compostaje, pues permitió la reactivación del proceso. En la fase de maduración la pérdida fue mínima, lo que es un indicativo de estabilidad del proceso. Resultados similares fueron observados por otros investigadores (Idrovo, 2018).

El compostaje por el método Takakura, en su fase biooxidativa duró 75 días, pero para lograr una buena estabilización permaneció en fase de maduración durante 60 días. Aplicando el método Takakura se ha obtenido compost en 57 - 67 días (Iliquín, 2014, p. 109).

3.1.4 Evolución del pH

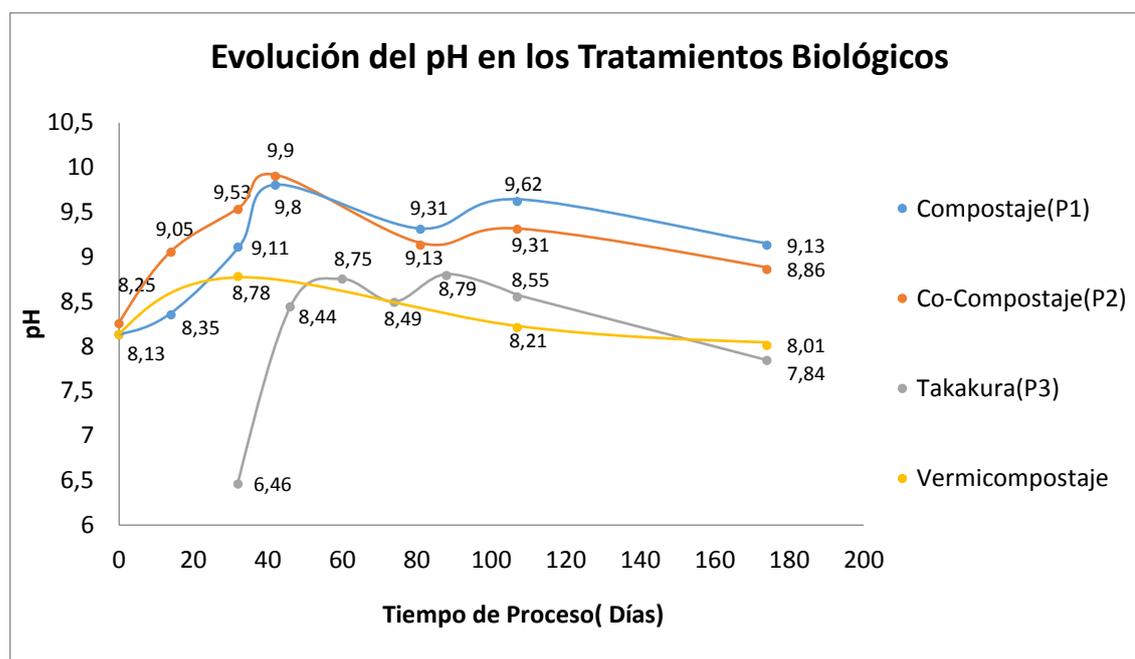


Gráfico 3-3: Evolución de pH.
Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven 2018.

En los tratamientos de Compostaje, Co-compostaje y Takakura, entre los días 35-45 se alcanzaron pH básicos. Esto posiblemente se debe al tipo de residuos contenidos en la fracción orgánica proveniente de los mercados (lechuga, col, haba, arveja, apio, coliflor, fréjol) que al ser ricos en nitrógeno y al estar bajo un ambiente húmedo propiciaron la formación de amoníaco (NH_3). (Osorno, 2016) En su artículo sobre el Análisis Físico Químico del proceso de Co-Compostaje de Biomasa de Leguminosa y Ruminosa indicó que un mayor contenido de N en la biomasa inicial puede ocasionar el incremento del pH desde el inicio del proceso, debido a su metabolismo al transformarse en amoníaco y posterior ionización en amonio.

En el Takakura el pH inició ligeramente ácido con un valor de 6,46 y al final presentó un valor de 7,84. Un resultado similar se obtuvo en un estudio de compostaje con método Takakura (Iliquín, 2014, p. 109 - 118). En todos los tratamientos el pH se estabilizó después de 120 días.

El pH en el vermicompostaje inicia con un valor de 8,13 el mismo que se mantiene a lo largo del proceso. A este pH las lombrices puedan realizar su trabajo, sin embargo, cabe mencionar que los residuos orgánicos fueron previamente precompostados para evitar la acidez. Estudios similares reportan la importancia de precompostar los residuos para que puedan ser aptos para los anélidos (Su Lin Lim, 2016).

El pH del compost maduro de los tratamientos takakura y vermicompostaje están dentro de los parámetros establecidos por la norma según la (US Composting Council, 2001) en la tabla 2-3 siendo ligeramente alcalinos 7,84 y 8,0. Los valores del compostaje y co-compostaje fueron de 9,13 y 8,86 respectivamente, no se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma. Sin embargo (Moran, 2008, p. 99) en su artículo menciona que un compost maduro con valores superiores a 7,5 es un indicativo de un buen proceso de descomposición.

3.1.5 Evolución de la Conductividad Eléctrica (CE)

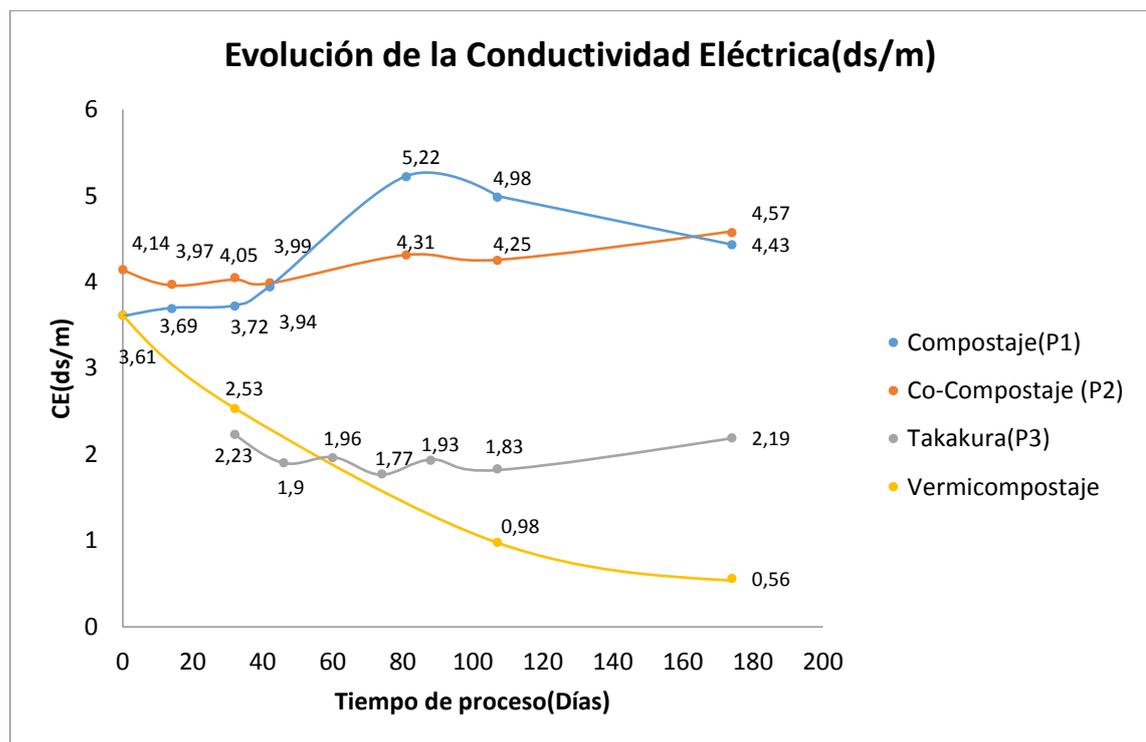


Gráfico 4-3: Conductividad Eléctrica (ds/m)
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

En todos los tratamientos la conductividad eléctrica presenta valores inferiores a 6 dS/m, por tanto concuerda con la norma s (US Composting Council, 2001) en la tabla 2-3.

Comparando entre los cuatro tratamientos, el vermicompostaje tuvo un descenso notable en la conductividad eléctrica con respecto a los otros tratamientos, esto se explica pues en este procedimiento se usa una mayor cantidad de agua para mantener una humedad alta, necesaria para el desarrollo de las lombrices provocando una mayor lixiviación de las sales (Mendoza Juan, 2011, p. 58).

3.1.6 Parámetros Biológicos

3.1.6.1 Índice de Germinación (IG)



Gráfico 5-3: Índice de Germinación
Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018.

Los % de IG bajos en las muestras iniciales se deben a que la materia orgánica no ha sufrido ningún tratamiento, razón por la cual no es conveniente disponer los residuos orgánicos directamente al suelo. Según (Albuquerque, 2006), los residuos de origen vegetal tienen gran cantidad de polifenoles compuestos en su mayoría por ácidos fenólicos, un alto contenido de estos compuestos puede causar una inhibición en las semillas. Las muestras iniciales de los otros dos tratamientos mostraron rangos más altos de IG evidenciándose una mejoría al utilizar fermentos dulces y salados en la pila de Takakura y al utilizar residuos orgánicos pre compostados en el vermicompostaje. El compost maduro de la pila compostaje tiene un IG de 65,14 % según (Zuconi, 1981) valores que estén entre 50 y 80 % de IG son levemente tóxicos para ser usado directamente como enmienda agrícola, el sustrato obtenido en esta investigación deberá ser mezclado con otro que sea mayor a 80 % de IG para ser usado en el suelo.

Los tratamientos de co-compostaje, vermicompostaje y takakura mostraron valores superiores al 80% indicando que se puede usar como enmienda directamente en los suelos (Zuconi, 1981). Valores similares se reportaron en una investigación de compostaje de residuos de mercado y de jardinería urbana de mercado de la ciudad de Riobamba (Jara, 2016, pág. 106). Los resultados de esta prueba biológica indicaron que los tratamientos se han realizado correctamente pues los abonos obtenidos muestran un buen grado de madurez debido a la descomposición de las sustancias orgánicas fitotóxicas.

Tabla 2-3: Parámetros de calidad para un compost maduro

Parámetros						Normas		
	Tratamientos	Compostaje	Co-compostaje	Takakura	Vermicompostaje	US guidelines	European guidelines	Ecological criteria to soil improvers
pH	Inicial	8,13	8,25	6,46	8,13	6--8		
	Final	9,13	8,86	7,84	8,01			
%MO	Inicial	73,95	55,26	52,71	63,74	50-60	>15	>20
	Final	31,69	31,45	26,15	25,32			
%C org	Inicial	40,41	30,20	28,80	34,83			
	Final	17,32	17,19	14,29	13,84			
CE dS / m	Inicial	3,61	4,14	2,23	2,53	6		
	Final	4,43	4,57	2,19	0,56			
C/N	Inicial	28,26	23,59	33,89	20,61			
	Final	21,38	7,38	13,74	6			
Biológicos								
%IG	Inicial	25,61	15,03	62,91	61,52			
	Final	65,14	91,84	94,83	>100			
Macronutrientes								
%NT	Inicial	1,43	1,28	0,85	1,69	≥ 1.0		< 3.0
	Final	0,81	2,33	1,04	2,34			
%P	Inicial	0,86	1,06	0,86	1,11	≥ 1.0		
	Final	0,8	1,86	0,97	2,00			
%K	Inicial	2,57	2,94	1,1	2,74			
	Final	0,48	4,22	1,38	3,76			
Micronutrientes mg/kg								
Fe	Inicial	1039	1505	1890	1907			
	Final	4864	3131	4638	3425			
Cu	Inicial	8	22	13	14	1500	200	100
	Final	49	56	54	47			
Mn	Inicial	35	58	8	67			
	Final	203	176	182	182			
Zn	Inicial	88	245	252	108	2800	600	300
	Final	1045	743	1083	91			
Ca	Inicial	30487	53660	4981	15979			
	Final	40329	40242	13746	46050			
Mg	Inicial	3739	6490	3889	5298			
	Final	4905	13784	10430	13807			

Fuente: (Jara, 2016, p. 86)

Realizado por: Mejía Estalin, Ramos Steven 2018

En cuanto al contenido de macronutrientes (N P K), el compost presenta valores inferiores al 1% por lo que no cumple con la norma (US Composting Council, 2001). Los contenidos de N, P y K del vermicompost y del producto de co-compostaje son los más altos y superan los valores establecidos en la mayoría de normativas que indican que los contenidos de macronutrientes deben ser superiores al 1% (US Composting Council, 2001), (BOE, 2013)

Tabla 3-3: Análisis Estadístico

Parámetro	Muestreo	Compostaje	Co-compostaje	Vermicompostaje	Takakura	F-ANOVA
NT	Inicial	1,43ab	1,28ab	1,69a	0,85b	0,020 **
	Final	0,81b	2,33a	2,34a	1,04b	0,00 ***
P	Inicial	0,89a	1,06a	1,11a	0,86a	0,561 ns
	Final	0,80b	1,86a	2,00a	0,97b	0,00 ***
K	Inicial	2,57a	2,94a	2,74a	1,10b	0,00 ***
	Final	0,48b	4,22a	3,76a	1,37b	0,00 ***
MO	Inicial	73,95a	63,74b	55,26c	52,71d	0,00 ***
	Final	31,69a	31,45a	26,15b	25,32c	0,00 ***
IG	Inicial	25,61b	15,03b	61,52a	62,91a	0,00 ***
	Final	65,14b	91,84b	>100a	94,83b	0,00 ***

NT: nitrógeno total, P: Fósforo, K: Potasio, MO: Materia Orgánica, IG: índice de Germinación.

*** Estadísticamente Significativo $P < 0.01$, ** Significancia Media $< 0,05$ y ns: no significativos $> a 0,05$. $P < 0.05$.

Realizado por: Mejía Estalín, Ramos Steven 2018

Según el análisis de varianza ANOVA de un factor los tratamientos muestran diferencias altamente significativas mostrando valores $< a 0,01$. El porcentaje de potasio del compostaje mostró no tener diferencias significativas con valores $> a 0,05$.

CONCLUSIONES:

- ✓ Se analizó los residuos orgánicos provenientes de los botaderos a cielo abierto de los cantones Guamate y Colta, presentando contenidos óptimos de materia orgánica de 81%, pH de 8,2 y CE 3,4(dS/m) y macronutrientes N 1,62%, P 0,74%, K 2,48%. Sin embargo, los valores bajos del Índice de germinación menores a 80% evidenciaron la presencia de elementos fitotóxicos, por lo que deben ser tratados biológicamente. Estas características hacen que estos residuos sean materia prima potencialmente apta para la producción de compost y abonos en general.
- ✓ Se realizaron 4 tratamientos biológicos para aprovechar la fracción orgánica representativa de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de aseo (Cantones Guamate y Colta), con el montaje de 3 pilas mediante sistemas abiertos con volteo manual. Compostaje, Co-Compostaje, Takakura. En un cuarto tratamiento (Vermicompostaje) se incorporó lombrices a residuos orgánicos precompostados. De esta manera se experimentó con las técnicas biotecnológicas más empleadas para tratar residuos orgánicos.
- ✓ El análisis de la calidad de los abonos obtenidos, mediante parámetros fisicoquímicos, químicos y biológicos (pH, CE; %MO, N, P, K, %IG) concluyeron que tres tratamientos: co-compostaje, takakura y vermicompostaje, cumplen con los criterios de calidad según las normas (US Composting Council, 2001), (European Commission 2014), (Ecological criteria For soil improvers 2006) para ser usados directamente en el suelo. En el compostaje de RSO se evidenció la falta de un agente estructurante que ayude en el control de la humedad y aireación por lo que su calidad fue inferior evidenciando un porcentaje de IG de 64,59% y niveles por debajo del 1% en NPK siendo no apto para uso directo en el suelo. El compostaje realizado con la técnica takakura presentó la ventaja de tener una fase biooxidativa más corta. Por otra parte, el vermicompostaje fue el tratamiento que permitió obtener un abono con el mayor contenido de nutrientes e índice de germinación superior a 100.

RECOMENDACIONES

- ✓ A la Empresa pública Municipal Mancomunada de Aseo de los Cantones Colta, Alausí y Guamate, mediante los procesos de investigación en el tratamiento de residuos orgánicos es recomendable realizar el método takakura, pues presenta resultados óptimos para uso agrícola en un menor tiempo en relación a los diferentes tratamientos.
- ✓ Triturar los residuos orgánicos asegurando un tamaño de partícula apropiado de 1 a 5 cm que permita la entrada de oxígeno a la pila y un óptimo proceso de descomposición.
- ✓ Usar agentes estructurantes con mezclas fermentables para mantener altas temperaturas, mayor oxigenación y aporte de nutrientes que permitan obtener un producto estable y con un buen índice de madurez.
- ✓ Precompostar los residuos orgánicos durante al menos 30 días para proporcionar condiciones óptimas para las lombrices en tratamientos de vermicompostaje.
- ✓ Realizar la prueba de caja para conocer la sensibilidad de las lombrices a los residuos.

BIBLIOGRAFIA

Acosta Yaniris Lorenzo. “Digestión Anaerobia Aspectos I”. [En Línea] (Artículo) (Científico). ICIDCA. 2005. pp. 36 [Consulta: 02 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>

Aibar Julio. et al. “Producción y Gestión del Compost”. [En Línea] (Artículo) (Científico). “Informaciones Técnicas Gobierno de Aragón”. 2000. pp. 1–31. [Consulta: 06 de Febrero 2019]. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000 Compost CIEMAT.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf).

Ambientum. "Diagrama general de la clasificación de los residuos". [En línea] (Sitio) (Científico). "Ambientum". 2018. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/detalle_de_la_generacion_de_los_rsu.asp

Apthapi. “La Facultad de Agronomía ”. [En Línea] (Revista) (Científica). “Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA.” 2018. p. 9382. [Consulta: 06 de Febrero 2019]. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/apt/v4n1/v4n1_a01.pdf.

Andalucía Luz. “Sistemas Y Técnicas Para El Compostaje”. [En Línea] (Artículo) (Científico). “Junta de Andalucía”. 2000. pp. 7. [Consulta: 02 de Febrero 2019]. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000 Compost CIEMAT.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf).

Barrena, Raquel. “Compostaje de residuos sólidos Municipales”. [En Línea] (Tesis) (Científica). “Universidad Autonoma de Barcelona”. 2006. pp. 39 – 44. [Consulta: 02 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf?sequence=1>.

Bueno Pedro y Diaz Manuel. “Factores que afectan al proceso de Compostaje”. [En Línea] (Artículo) (Científico). “Universidad de Huelva”. 2008. pp. 1107. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores que afectan al proceso de compostaje.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf)

Brito Hannibal. “Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba”. [En Línea] (Artículo) (Científico).

“Researchgate”. 2016. Pp. 82. [Consulta: 6 de Enero 2019]. Disponible en: [10.19044/esj.2016.v12n29p76](https://www.researchgate.net/publication/309119044/esj.2016.v12n29p76).

Castrillón, Olivia & Puerta, S. “Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista”. [En Línea] (Artículo) (Científico). Lasallista de Investigación. 2004. pp. 15–21 [Consulta: 2 de Enero 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511003>.

Crana. “Los residuos sólidos urbanos (RSU)”. [En Línea] (Documento) (Informativo). Materiales educativos sobre RSU. 2005. pp. 6–13 [Consulta: 2 de Enero 2019] Disponible en: http://www.crana.org/themed/crana/files/docs/158/247/docinf_rsu.pdf.

Costa Ana. "Problemática, clasificación y gestión de los residuos sólidos urbanos". [En línea] (Sitio) (Científico). "Info Agro". 2011. [Consulta: 2 de Enero 2019]. Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/problemativa__clasificacion_y_gestion_residuos_solidos_urbanos.asp

Custode Fernando. "NORMATIVA AMBIENTAL ECUATORIANA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS". [En línea] (Sitio) (Científico). Escuela Superior Politecnica Nacional. 2017. [Consulta: 7 de Enero 2019]. Disponible en: <http://fernandocustode.blog.epn.edu.ec/?p=113>

Ecological criteria for soil improvers. "Establishing Revised Ecological Criteria and the Related Assessment and Verification Requirements for the Award of the Community eco-Label to Soil Improvers". [En línea] (Normativa) (Científica)." Environmental Management Law". 2006. [Consulta: 6 de Febrero 2019]. Disponible en: Ley de Gestión Ambiental. Ley No. 37.

European Commission. "EU SCIENCE". [En línea] (Normativa) (Científica). 2014. [Consulta: 6 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/jrc/en/about/jrc-site/seville?id=6869EKINCI>,

Fuentes Silvia. "Legislación Ecuatoriana para el manejo de RSU". [En línea] (Sitio) (Científico). "A.V. CROP." [En línea] (Sitio) (Científico). 2017. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/18006572-Manejo-de-residuos-hospitalarios-todos-los-derechos-reservados-av-corp.html>

Garro Jorge. “El suelo y los abonos orgánicos”. [En Línea] (Revista) (Científica). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 2016. pp. 27-31-32-35-39 [Consulta: 2 de Enero 2019]. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>.

Gómez Roberto. “Compost Takakura”. [En Línea] (Artículo) (Científico). Iges.or.jp, 1. 2015. pp. 7–8. [Consulta: 3 de Enero 2019]. Disponible en: <https://www.iges.or.jp/files/research/sustainablecity/PDF/compost/FolletoCompostTakakura.pdf>.

Gordillo Fabian. “Efecto de residuos de producción de azúcar en la altura del compost”. [En Línea] (Revista) (Científica). "Revista Científica ECOCIENCIA". 2017. pp. 2–8. [Consulta: 02 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://ecociencia.ecotec.edu.ec/upload/php/files/junio17/04.pdf>.

Grijalva Nubia. “Degradacion Residuos Vegetales Con Cepas Microbianas”. [En Línea] (Artículo) (Científica). "Universidad Tecnológica Equinoccial". 2013. pp. 1–13. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/21/20>.

Gutierrez Marco. "Una tecnologia de Compost". [En línea] (Sitio) (Científico). " Blogger Compost." 2010. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://compostucv.blogspot.com/2010/12/propiedades-del-compost.html>

Idróvo Julio. "Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts". [En Línea] (Artículo) (Científico). "Science Direct". 2018. [Consulta: 06 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582018300648>

Iliquín Robert. “Elaboración de compost utilizando residuos orgánicos aplicando los métodos takakura y em-compost Composting organic waste using takakura applying em- compost and methods Roberth”. [En Línea] (Artículo) (Científico). "Agroindustrial Science Composting organic waste using takakura applying em- compost and Agroindustrial Science". pp. 109. [Consulta: 06 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/793/721>.

Instituto Nacional de Normailización. “Compost - Clasificación y requisitos”. [En Línea]

(Norma) (Instructivo). "Instituto Nacional de Normalización". 2003. pp. 7 - 8. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>.

Jara Janeth. "Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador". [En Línea] (Libro) (Científico). " Madrid: Universidad Miguel Hernández de Elche." 2016. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2770/1/TD%20Jara%20Samaniego%2C%20Lourdes%20Janneth.pdf> ed. Madrid: Universidad Miguel Hernández de Elche.

Kamiyamaguchi Kitakyushu. "Compostaje para reducción de residuos". [En Línea] (Revista) (Científica). "IGES , Sede Central IGES Centro Urbano Kitakyushu". 2010. pp. 14. [Consulta: 2 de Enero 2019]. Disponible en: https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_low.pdf.

Laich Federico. "Papel De Los Microorganismos En La Elaboración Del Vino". [En Línea] (Artículo) (Científico). "Ciencia y Tecnología Alimentaria". 2011. pp. 174–183. [Consulta: 03 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcyt19>
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcyt19>

Lalander Cecilia, Komakech Alla y Vinnerås Bjorn. "Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms - Kampala case study". [En Línea] (Artículo) (Científico). "Waste Management. Elsevier Ltd". 2015. pp. 96–103. [Consulta: 02 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.009>

Lomas Paola. "Producción de abono orgánico en la finca". [En Línea] (Presentación) (Científica). "Cartilla". 2009. pp. 159. [Consulta: 2 de Enero 2019]. Disponible en: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf.

Lopez Cristina. "Metodo Takakura". [En línea] (Sitio) (Científico). "Blogspot". 2016. [Consulta: 4 de Enero 2019]. Disponible en: <http://metodotakakuracris.blogspot.com/>

López Lurdes. "Fases Del Proceso De Compostaje Y Dinámica De Temperatura En Mezclas De Estiercol Bovino Y Rastrojos De Maíz". [En Línea] (Artículo) (Científico). "Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)". 2015. pp. 91–99. [Consulta: 03

de Febrero 2019]. Disponible en: http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2015152IV_6.pdf.

Luna Mario. "Manual de vermicompostaje". [En Línea] (Revista) (Científica). "Grupo de Acción Para el Medio Ambiente". 2011. pp. 4- 8 - 11 - 14. [Consulta: 6 de Enero 2019]. Disponible en: <https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual de Vermicompostaje GRAMA.pdf>.

M.A.E. "Ministerio del Ambiente". [En línea] (Instructivo) (Normativa). 2014. [Consulta: 6 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/ministerio-del-ambiente-contribuye-a-la-eliminacion-de-pasivos-ambientales-en-residuos-solidos/>

MAGAP. "Instructivo de la normativa general para promover y regular la producción orgánica - ecológica - biológica en el Ecuador, acuerdo ministerial 299." [En Línea] (Instructivo) (Normativa). "Ministerio de Agricultura, ganadería, acuicultura, y pesca". 2013. pp. 46 - 47 - 159. [Consulta: 6 de Enero 2019]. Disponible en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/ddo/guia-produccion-organica.pdf>

Mendoza Juan. "Análisis De Lombricompostos A Partir De Diferentes Sustratos". [En Línea] (Artículo) (Científico). "F. D. A.-E. De Postgrados. Especialización En Cultivos Perennes Industriales". 2011. pp. 58. [Consulta: 3 de Febrero del 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/2730/1/juancarloscastillotaco.2010.pdf>.

Mosquera Byron. "Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana FONAG". [En Línea] (Revista) (Científica). "Manual para la elaboración y aplicación de abonos y plaguicidas orgánicos". 2010. pp. 5 - 7 - 19. [Consulta: 3 de Enero 2019]. Disponible en: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf.

Moran Vicente. "El compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas". [En línea] (Informe) (Científica). "Informes Técnicos CIEMAT". 2008. pp. 99. [Consulta: 6 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-de-tecnologias-en-girs/valorizacion/compostaje/1352-compostaje/file>.

Moreno Jose. "Indicadores de Madures y compostaje".[En línea] (Sitio) (Científico). "Google Libros".2008. [Consulta: 7 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA242&dq=Indicadores+de+la+estabilidad+y+madurez+del+compost&ots=BRPtP3srQ7&sig=DIwzjXoOPKsbGT1ERyrfYVAssBo#v=onepage&q=Indicadores%20de%20la%20estabilidad%20y%20madurez%20del%20compost>

Ocampo, Raquel; Gutiérrez, Roldan y Ramírez, Yhonel "Implementación del método de compostaje Takakura para el reciclaje de desechos en la ciudad de Loja, Ecuador. [En Línea] (Revista) (Científica) Centro de Biotecnología. [Consulta: 3 de Enero 2019]. Disponible en: <http://revistas.unl.edu.ec/index.php/biotecnologia/article/view/95>

Ortiz Juan. "Desarrollo y ambiente por un Honduras verde." [En línea] (Sitio) (Científico). "Lombricultura, una opcion verde". 2015. [Consulta: 7 de Enero 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/a/desarrolloambientalhn.org/www/reciclaje/lombricultura>

Osorno Arango Sergio. "Análisis fisicoquímico y microbiológico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa de leguminosa y ruminaza Physicochemical and microbiological analysis of co-composting process from biomass legume and bovine rumen". [En Línea] (Artículo) (Científico). "Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas". 2016. pp. 345–354. [Consulta: 6 de Enero 2019]. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/4052/pdf.

Perez Luis. "Fertilización Orgánica". [En Línea] (Artículo) (Científico). "Fundacion MCCH-Innovacion.gob.sv.". 2012. pp. 2 - 11 -13. [Consulta: 3 de Enero 2019]. Disponible en: <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/3061/fertilizacionmch.pdf>.

Porras Sebastian. "Producción de compost a partir de residuos sólidos de una planta de celulosa". [En Línea] (Tesis) (Doctoral). "Universidad de Chile". 2011. pp. 23. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-porras_sh/pdfAmont/cf-porras_sh.pdf

Roman Pilar, Martínez Maria y Pantoja Alberto. "Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en latino america". [En Línea] (Revista) (Científica). "La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA - FAO". 2013. pp. 24 - 27 - 28 - 29 -31. [Consulta: 5 de Enero 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

Ruiz Carlos, Wolff Michael y Claret Marcelino. “Rastrojos de cultivos anuales y residuos forestales”. [En Línea] (Artículo) (Científico). "Rastrojos de cultivos anuales y residuos forestales". 2015. pp. 10–29. [Consulta: 3 de Enero 2019]. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40197.pdf>

Sanchez Carlos. "Realizar vermicompostaje doméstico paso a paso". [En línea] (Sitio) (Científico). " Jardineria On." 2017. [Consulta: 6 de Enero 2019]. Disponible en: <https://www.jardineriaon.com/realizar-vermicompostaje-domestico-paso-paso.html>

Sim Edwin Yih Shyang. “The potential reuse of biodegradable municipal solid wastes (MSW) as feedstocks in vermicomposting”. [En Línea] (Artículo) (Científico). “Journal of the Science of Food and Agriculture”. 2010. pp. 2153–2162. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20718020>

Singh Rajeev Pratap. et al. “Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option”. [En Línea] (Artículo) (Científico). “Resources, Conservation and Recycling”. 2011. pp. 719–729. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.005>

Sztern Daniel. “Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos”. [En Línea] (Manual) (Científico). “Organización Panamericana de la Salud”. 2009. pp. 1–69. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf%0AOPS/HEP/HES/URU/02.99>.

Su LinLim, Leong HweeLee, Ta YeongW. “Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis”. [En Línea] (Artículo) (Científico). “ELSEVIER”. 2016. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615011749>

US Composting Council. “US Composting Council”. [En línea] (Normativa) (Científica). 2001. [Consulta: 6 de Febrero 2019]. Disponible en: <https://compostingcouncil.org/>

Valverde Hugo. “Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos Hortícolas en la comunidad de gatazo cantón colta”. [En Línea] (Tesis) (Ingeniería). “Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.” 2015. p. 8–9. [Consulta: 3 de Febrero 2019]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/6586/1/20T00839.pdf>

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., De Beltoldi, M., 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*. 22: 54-57

iglesias, e Perez, V. Determination of maturity for city refuse compost. *agriculture, Ecosystems and Environment* 1992, 38, 331-343.

ANEXOS

Anexo A: Fase Experimental



Recogida de materiales



Caracterización inicial



Regado de residuos para su trituración



Triturado



Homogenizado



Pesaje de la paja para mezcla



Pesaje de residuos orgánicos para mezcla



Armado de pila de co-compostaje intercalando la paja y el residuo orgánico



Pila de Co-compostaje Armada



Pila de compostaje Armada



Pesaje de los fermentos preparados para el takakura



Fermentos salados



Fermentos Dulces



Fermento salado después de 8 días



Fermento dulce después de 8 días



Cascarilla de arroz



Semilla de compost preparada con la humedad necesaria según la prueba de puño



Armado de la pila de Takakura



Prueba de caja



Colocación de residuos orgánicos en la cama de vermicompostaje



Colocación de la lombriz roja californiana en los residuos orgánicos de la cama de vermicompostaje



Control de los parámetros temperatura, humedad y PH en los 4 tratamientos biológicos.



Volteo de pilas para una mejor aireación



Armado de pilas después del volteo



Hongos blancos visibles en el proceso de compostaje



Exeso de humedad en las pilas de compostaje y Co-compostaje



Secado de las pilas de compostaje y Co-compostaje a temperatura ambiente por exeso de humedad



Colocacion de inoculos microbianos a las pilas de compostaje y co-compostaje para reactivacion del proceso



Armado de pilas despues de haber sido colocado el inoculo microbiano



Armado de pilas en forma trapezoidal para la fase de maduracion

Anexo B: Fase de laboratorio



Pesaje de muestra inicial



Secado de residuos en la estufa a 80°



Pesaje de muestra final después de ser sometida a 80°



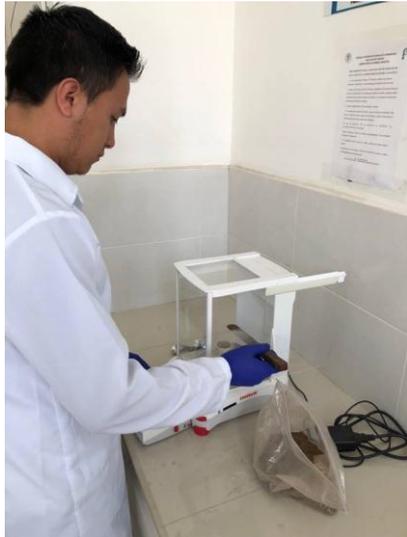
Molida de muestras



Etiquetado de muestras para su posterior analisis



Tarado de crisoles a 500° para materia orgánica



Pesaje de crisol vacío y muestra



Ingreso de las muestras a la mufla



Ingreso de muestras al desecador despues de ser sometidos a 800° para cenizas



Pasaje de muestra calcinada



Preparado de muestras para medicion de pH y conductividad



Medición de pH



Medición de conductividad



Preparado de muestras para índice de germinación



Muestras listas para ser colocadas en la incubadora



Muestras colocadas en la incubadora por 48 horas



Conteo y medición de semillas germinadas

Anexo C: Zona de estudio



Botadero de Colta



Botadero de Guamote



Ingreso a la hacienda Totorillas



Ingreso a la hacienda Totorillas



Hacienda Totorillas



Elección del lugar para llevar a cabo los tratamientos



Limpieza del lugar

Anexo D: Técnicas de laboratorio para la determinación de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- Se colocan las muestras en vasos de precipitación y previamente etiquetadas se secan en estufa a 105°C por 24 horas, pues los resultados deben ser reportados sobre muestra seca.
- Se pasan al desecador hasta que se enfrien por un tiempo aproximado de media hora.
- Se pasan al frasco con tapa roja, se etiquetan y guardan en desecador

ESTUFA DE SECADO

Anotar características del equipo

MATERIA ORGÁNICA

- Tarar el crisol (105 grados centígrados por 2 h)
- Pasar al desecador por 30 minutos, enumerar el crisol en la base y pesar el crisol vacío, anotar el peso
- Añadir 3 g de muestra y anotar el peso.
- Colocar en la mufla por 24 horas a 430 °C (Si la mufla lo permite se programan las temperaturas para que suba progresivamente, entonces la medición dura 2 días pues la temperatura sube y baja en forma gradual). En caso de no disponer de esta estufa se utiliza la normal.
- Colocar en el desecador por 30 minutos
- Pesar el crisol con la muestra calcinada

Fórmula para el cálculo:

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

NOTA: Si se utiliza la mufla de un laboratorio se puede solicitar la técnica estandarizada que utilizan normalmente y trabajar con ésta.

DETERMINACIÓN DE pH

- Pesar 3 o 4 g de muestra (balanza de 3 cifras).
- Adicionar 30 o 40 ml de agua (Siempre se hace una proporción 1:10)
- Agitar vigorosamente por 10 minutos
- Dejar sedimentar y medir directamente en el líquido sobrenadante el pH.
- Características del pHmetro: anotar

NOTA: Funcionamiento del pH metro

1. Calibrar con estándares
2. Medir el pH de la muestra. Entre las mediciones enjuagar con agua destilada y secar suavemente con papel. Medir la temperatura introduciendo conjuntamente el sensor.

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

- Pesar 3 o 4 g de muestra (balanza de 3 cifras).
- Adicionar 30 o 40 ml de agua (Siempre se hace una proporción 1:10)
- Agitar por 10 minutos.
- Centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm
- Filtrar en papel filtro normal
- Medir la Conductividad

Característica de la centrifuga: anotar

NOTA: Funcionamiento del Conductímetro (Consort C860)

- Encender
 - NO hace falta calibrar
 - La medición de la lectura es directa introduciendo el sensor y el medidor de la temperatura en la muestra.
 - Entre muestra y muestra se debe enjuagar con agua destilada y se seca con papel
 - Introducir el electrodo junto con el medidor de la temperatura en el líquido filtrado
 - Leer la lectura cuando el punto se estabilice. Observar las unidades. (mili o micro siemens/cm)
 - Al terminar debe estar sumergido el electrodo el agua destilada
- Nota: pH y conductividad eléctrica se determina a la vez con la muestra preparada de la misma forma.

Determinación de Índice de germinación

- Se pesa 3 g de muestra y se la humedece hasta alcanzar el 60% de humedad (4,5 mL de agua) Se deja en reposo durante 30'.
- Se añade 13,5 mL de agua desionizada por gramo de muestra seca para diluir este extracto hasta el 10% (total 40,5 mL de agua)
- Agitar durante 30'
- Centrifugar a 4000 rpm durante 10'
- Filtrar al vacío con papel de 0,45 micrómetros para esterilizar el extracto
- Colocar papel filtro en las cajas Petri (10 cajas por tratamiento)
- Colocar 8 semillas de rábano
- Añadir 1mL de extracto acuoso 8Muestra mojando el papel en su totalidad
- Como tratamiento testigo o blanco, en vez del extracto se añade agua desionizada (10 cajas Petri)
- Incubar las cajas Petri a 28°C por 48 horas, distribuyendo las placas en grupos de 5 y envolviéndolas con papel aluminio
- Sacar las cajas y desactivar el crecimiento de las semillas añadiendo una solución acuosa al 50% de etanol (este paso se puede obviar)
- Se cuenta el número de semillas germinadas. PGR porcentaje de germinación relativo

$$PGR = \left(\frac{N^{\circ} \text{ semillas germinadas en el extracto}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el testigo o blanco}} \right) \times 100$$

- Con un pie de rey se mide la longitud de la elongación de las raíces por caja. CRR crecimiento de radícula relativo

$$CRR = \left(\frac{\text{Elongación de radícula en el extracto}}{\text{Elongación de radícula en el testigo o blanco}} \right) \times 100$$

- Los resultados se expresan como índice de germinación IG

$$IG = PGR \times CRR / 100$$