



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**EFECTO DEL PORCENTAJE DE PODA SOBRE EL PROCESO DE
COMPOSTAJE DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU) DEL RELLENO
SANITARIO DE PORLÓN**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Presentado para obtener el grado académico de:
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES: MARCO VINICIO TIXE PAUCAR
BYRON JOSÉ RUIZ TANDAZO**

TUTOR: DRA. IRENE GAVILANES TERÁN, Ph.D

**Riobamba – Ecuador
2018**

©2018, Byron José Ruiz Tandazo y Marco Vinicio Tixe Paucar

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

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

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **Efecto del porcentaje de poda sobre el proceso de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) del Relleno Sanitario de Porlón**, de responsabilidad de los señores Marco Vinicio Tixe Paucar y Byron José Ruiz Tandazo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos González
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		
Dr. Julio César Idrovo Novillo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		

Nosotros Marco Vinicio Tixe Paucar y Byron José Ruiz Tandazo, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Trabajo de Titulación, el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Riobamba,

Byron José Ruiz Tandazo
C.I. 171869246-8

Marco Vinicio Tixe Paucar
C.I.060451114-7

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedicamos como una humilde ofrenda a Dios por darnos sabiduría, paciencia, confianza y ser nuestra luz en cada etapa de nuestra vida.

A nuestras familias por ser nuestro soporte, apoyo y compañía como fuente de motivación e inspiración.

Byron José

Marco Vinicio

AGRADECIMIENTO

A la Dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba (GADMR) por la colaboración brindada durante el proceso de la investigación.

A los técnicos encargados de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por las facilidades y cooperación.

Al Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología Ambiente y Química (GAIBAQ) por el apoyo científico y tecnológico.

Nuestra especial gratitud a nuestra Directora del trabajo de titulación, Dra. Irene Gavilanes Terán, Ph.D y al Dr. Julio Idrovo miembro del mismo, por su valiosa colaboración y su invaluable contribución científica en el desarrollo de éste trabajo.

Byron José

Marco Vinicio

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	8
1.1. Relleno Sanitario.....	8
1.1.1. Características de un relleno sanitario.....	9
1.1.2. Tipos de residuos que ingresan al relleno sanitario.....	9
1.2. Tipos de rellenos sanitarios.....	9
1.2.1. Relleno Sanitario Mecanizado.....	10
1.2.2. Relleno Sanitario Semimecanizado.....	10
1.2.3. Relleno Sanitario Manual.....	11
1.3. Rellenos como componentes de la gestión integral de RSU.....	11
1.4. Criterios de calidad ambiental de la disposición de residuos.....	12
1.5. Jerarquización de las etapas del manejo de residuos sólidos.....	13
1.5.1. Minimización en la fuente.....	14
1.5.2. Valorización y su Aprovechamiento.....	14
1.5.3. Transformación del residuo sólido.....	15
1.5.4. Etapa concluyente del residuo y clausura.....	15
1.6. Residuos Sólidos.....	16
1.6.1. Gestión integrada de residuos sólidos.....	17
1.6.2. La gestión integral de los residuos sólidos urbanos.....	19
1.6.3. Caracterización de residuos sólidos.....	19
1.7. Biopila y sus características.....	20
1.7.1. Compostaje en pilas windrow.....	21
1.8. Compostaje.....	21
1.9. Seguimiento del control de proceso de compostaje.....	22
1.9.1. Volteo de compostaje.....	22
1.9.2. Monitoreo del compostaje.....	23
1.10. Fases del compostaje y microorganismos.....	23
1.11. Parámetros a controlar en el proceso de compostaje.....	24
1.11.1. Relación C/N.....	24
1.12. Norma Técnica NTRS- 3 - Muestreo-Método de Cuarteo.....	25
1.12.1. Composición de los residuos sólidos.....	26
1.12.2. Procedimientos.....	26
1.12.3. Preparación de muestras para su análisis en laboratorio.....	26

1.13.	Marco Legal Aplicable.....	27
1.13.1.	Marco Legal implementable en el uso agrícola del compost.....	30

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	33
2.1.	Diseño experimental.....	33
2.1.1.	Tipo y diseño de investigación	33
2.1.2.	Población de estudio.....	33
2.1.3.	Tamaño de muestra.....	33
2.2.	Metodología	34
2.2.1.	Datos de Localización	34
2.2.2.	Datos de Administración.....	34
2.2.3.	Funcionamiento	35
2.2.4.	Infraestructura	35
2.2.5.	Consumo de Agua	35
2.2.6.	Uso	35
2.2.7.	Abastecimiento y consumo de energía eléctrica.....	36
2.3.	Medio físico	36
2.3.1.	Hidrología.....	36
2.3.2.	Meteorología.....	36
2.3.3.	Aguas subterráneas	36
2.3.4.	Geología.....	36
2.4.	Uso de suelo.....	37
2.5.	Servicios Básicos.....	37
2.6.	Aspectos ambientales	37
2.7.	Medio Biótico.....	38
2.7.1.	Flora	38
2.7.1.1.	Uso de recursos	38
2.7.1.2.	Especies en zonas aledañas	39
2.7.2.	Fauna.....	39
2.7.2.1.	Masto-fauna.....	39
2.7.2.2.	Uso de recursos	40
2.7.3.	Aves.....	40
2.7.4.	Paisaje.....	40
2.7.4.1.	Componente paisajístico.....	40
2.8.	Descripción de la Gestión integral del residuo	41
2.8.1.	Disposición del residuo sólido.....	41
2.8.1.1.	Sitios de obtención del material de cobertura.....	41

2.8.1.2.	<i>Contracciones auxiliares</i>	41
2.8.2.	<i>Descripción del proyecto piloto de compostaje</i>	42
2.9.	Generación y recolección por fases del residuo.	42
2.9.1.	<i>Generación del residuo sólido</i>	42
2.9.2.	<i>Disposición de desechos hospitalarios</i>	43
2.9.3.	<i>Recolección del residuo sólido</i>	43
2.10.	Proceso de caracterización de residuos sólidos	44
2.11.	Caracterización de residuos sólidos urbanos	48
2.12.	Diseño experimental del compost	52

CAPÍTULO III

3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
3.1.	Evaluación de la caracterización de RSU	66
3.2.	Análisis de partida	67
3.3.	Análisis del proceso:	68
3.3.1.	<i>Evolución de Temperatura en las pilas</i>	68
3.3.2.	<i>Pérdida de Materia Orgánica en las pilas</i>	69
3.4.	Evaluación de las pilas de compost en su etapa final	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

As	Arsénico
C	Carbono
C/N	Relación Carbono/Nitrógeno
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
CE	Conductividad Eléctrica
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
Cl ⁻	Cloruro
CO ₂	Dióxido de Carbono
COOTAD	Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización
Corg	Carbono Orgánico
Cr	Cromo
Cu	Cobre
dS/m	Decisiemens por metro
EPA	Agencia de protección Ambiental
Fe	Hierro
FO	Fracción Orgánica
FORSU	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos
GADs	Gobiernos Autónomos Descentralizados
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos
GIRSU	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
Ha	Hectáreas
Hg	Mercurio
I.M.R	Ilustre Municipio de Riobamba
IEOS	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
IG	Índice de Germinación

K	Potasio
Kg	Kilogramo
kg/hab/día	Kilogramo por habitante por día
Kw/h	Kilovatios por hora
M	Metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
Mg	Miligramo
mg/kg	Miligramo por Kilogramo
Mn	Manganeso
MO	Materia Orgánica
mS/cm	Milliseimens por Centímetro
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
Na	Sodio
NH ₃	Amoníaco
Ni	Níquel
NO ₃ ⁻	Nitratos
Nt	Nitrógeno Total
NTRS	Norma Técnica de Residuos Sólidos
P	Fósforo
P1	Pila uno
P2	Pila dos
P3	Pila tres
Pb	Plomo
PD	Poda
Pf	Muestra Final
pH	Potencial de hidrógeno

Pi	Muestra Inicial
PNGIDS	Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos
$(\text{PO}_4)^{3-}$	Fosfatos
Rpm	Revoluciones por minuto
RSQ	Residuos Sólidos de Quito
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
Se	Selenio
$(\text{SO}_4)^{2-}$	Sulfatos
SV/ST	Relación Sólidos Volátiles / Sólidos Totales
Ton/día	Toneladas por día
Zn	Zinc
%	Porcentaje
%H	Porcentaje de Humedad
°C	Grados Centígrados

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tipos de rellenos sanitarios y cantidad de residuos sólidos urbanos generados.	10
Tabla 2-1 Gestión integrada de residuos solidos.....	18
Tabla 3-1 Parámetros de control durante el compostaje	24
Tabla 4-1 Marco legal aplicable para Residuos Sólidos	29
Tabla 5-1 Características representativas de los Compost Municipales establecida para la materia prima.	31
Tabla 6-1 Límites máximos permisibles de elementos traza en materia prima para el compostaje.	31
Tabla 7-1 Límites máximos permisibles de parámetros para considerar un compost de calidad en base a la Normativa Chilena	32
Tabla 8-1 Límites máximos permisibles de parámetros para considerar un compost de calidad en base a la Norma Europea, EPA y al Criterio Ecológico.....	32
Tabla 1-2 Localización del trabajo experimental	34
Tabla 2-2 Identificación del personal.....	34
Tabla 3-2 Datos de funcionamiento	35
Tabla 4-2 Datos de infraestructura	35
Tabla 5-2 Datos de abastecimiento de agua	35
Tabla 6-2 Datos para uso de agua	35
Tabla 7-2 Datos de abastecimiento y consumo de energía eléctrica	36
Tabla 8-2 Lista de flora determinada en el área de estudio.....	38
Tabla 9-2 Lista de fauna determinada en el área de estudio.....	40
Tabla 10-2 Cantidad de residuo y su producción per-cápita	42
Tabla 11-2 Generación diaria de residuos sólidos.....	42
Tabla 12-2 Procedencia del residuo orgánico	42
Tabla 13-2 Caracterización del residuo sólido	48
Tabla 14-2 Resultados del proceso de caracterización.....	52
Tabla 15-2 Resultados porcentuales de residuo que ingresa al relleno sanitario	52
Tabla 16-2 Parámetros físico-químicos y biológicos iniciales.....	54
Tabla 17-2 Parámetros físico-químicos, químicos y biológicos del proceso de compostaje	55
Tabla 18-2 Parámetros físico-químicos, químicos y biológicos finales del compostaje.....	57
Tabla 1-3 Análisis físico-químicos de los materiales iniciales.,.....	67
Tabla 2-3 Análisis químicos de los materiales iniciales.....,	67
Tabla 3-3 Ajuste de curvas en las pilas de compostaje.....	70
Tabla 4-3 Evolución de parámetros durante el proceso de compostaje.....	71
Tabla 5-3: Concentración de aniones, nutrientes y metales pesados.....	74

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2 Ubicación geográfica del proyecto de compostaje	34
Fotografía 2-2 Flora determinada en el área del predio	38
Fotografía 3-2 Uso de recursos en el sector.....	39
Fotografía 4-2 Flora del sector.....	39
Fotografía 5-2 Fauna del sector	40
Fotografía 6-2 Paisaje aledaño al proyecto.....	41
Fotografía 7-2 Área de caracterización.....	44
Fotografía 8-2 Método del cuarteo	45
Fotografía 9-2 Muestras representativas de residuo	46
Fotografía 10-2 Triturado de la fracción orgánica.....	52
Fotografía 11-2 Triturado de poda.....	52
Fotografía 12-2 Cubierta para el desarrollo del compostaje.....	53
Fotografía 13-2 Pilas de Compostaje.....	54
Fotografía 14-2 Volteo mecánico de las pilas.....	55
Fotografía 15-2 Etapa de maduración.....	56
Fotografía 16-2 Riego etapa de maduración.....	56
Fotografía 17-2 Cribado del compost.....	56
Fotografía 18-2 Codificación y empaquetado.....	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3 Caracterización de los residuos sólidos urbanos.....	66
Gráfico 2-3 Cambios de temperatura en el proceso de compostaje	68
Gráfico 3-3 Degradación de materia orgánica	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Caracterización de los RSU que llegan al relleno sanitario de Porlón

ANEXO B: Pesaje de los residuos sólidos urbanos para la caracterización

ANEXO C: Construcción de invernadero y elaboración de biopilas

ANEXO D: Seguimiento y preparación de muestras del proceso de compostaje

ANEXO E: Análisis físico – químico del proceso de compostaje

ANEXO F: Análisis químicos del proceso de compostaje

ANEXO G: Análisis biológico del proceso de compostaje

ANEXO H: Etapa de maduración y Tamizado del Compost

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue establecer la calidad del compost adquirida mediante la determinación de múltiples técnicas de análisis de índole experimental, estableciendo el efecto del porcentaje de poda sobre la calidad del abono en función de la materia prima. En la ciudad de Riobamba se encuentra ubicado el Relleno Sanitario de Porlón, grandes cantidades de residuos sólidos son depositados en el lugar, se ha establecido una producción per-cápita de 0,79 Kg/hab/día. El crecimiento de la población, los hábitos de consumo y los procesos agroalimentarios e industriales han ocasionado impactos ambientales negativos por su inadecuada disposición del residuo, para ello se armaron tres pilas de compostaje utilizando el método de windrow considerando dos tipos de mezclas de residuos a compostar con diferente concentración; P1 (90% FORSU + 10% PODA), P2 (80% FORSU + 20% PODA), P3 (100% FORSU). Durante todo el proceso se evaluaron diferentes parámetros físico-químicos, químicos y biológicos como pH, CE, CIC, C/N, Nt%, MO%, metales pesados, macro y micro nutrientes e índice de germinación. En el proceso de compostaje se evidenciaron que las tres pilas fueron significativamente diferentes en sus parámetros de madurez y calidad. Al final se encontraron rangos idóneos de higienización, bajos niveles de impurezas, un incremento en la CE a 4,4 dS/m en la pila 2, seguidos de la pila 1 y 3 con 3,4 dS/m y 3,7 dS/m respectivamente, por lo que presentaron una concentración ascendente de nutrientes y un nivel de toxicidad no significativo por metales pesados que se encontraron bajo el valor mínimo de referencia por la directriz Americana, Europea y Criterios Ecológicos del suelo. Todo ello evidenció que el porcentaje de poda influyó en la calidad del compost. Se recomienda como medida de control el incremento en la frecuencia de los volteos para garantizar una mejor mineralización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en las pilas de compostaje.

PALABRAS CLAVE: <BIOTECNOLOGÍA> <MEDIO AMBIENTE> <RELLENO SANITARIO> <RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)> <FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU)> <PODA> <COMPOSTAJE ><COMPOST>.

ABSTRACT

The objective of this work was to establish the acquired compost quality through the determination of multiple analysis techniques of experimental nature, establishing the percentage effect of pruning over the fertilizer quality in function of the raw material. In Riobamba city it is located the Porlon Landfill, large amounts of solid wastes are deposited in that place, it has established a per-capita production of 0.79 Kg/inhabitant/day. The population growth, the consumption habits and the agri-food and industrial processes have caused negative environmental impacts for its inadequate disposal of the waste, for this, three composting piles were built using the Windrow method considering two types of waste mixtures to be composted with different concentration; P1 (90% (OFUSW + 10% PRUNING), P2 (80% OFUSW + 20% PRUNING), P3 (100% OFUSW). During the whole process different physical-chemical, chemical and biological parameters were evaluated such as: pH, CE, CEC, C/N, Nt%, MO%, heavy metals, macro and micro nutrients and germination index. In the composting process it was noticed that the three piles were significantly different in their parameters of maturity and quality. At the end, suitable hygienization ranges were found, low levels of impurities, an increase in the CE to 4.4% dS/m in the pile 2, followed by the pile 1 and 3 with 3.4% dS/m and 3.7 dS/m respectively, so they had an increasing concentration of nutrients and a non-significant level of toxicity due to heavy metals that were found below the minimum reference value by the American, European and Ecological Soil Criteria guideline. It was noticed that the percentage of pruning influenced the quality of the compost. It is recommended as a control measure the increase in the frequency of the turns to guarantee a better mineralization of the Urban Solid Wastes (USW) in the composting piles.

KEY WORDS: <BIOTECHNOLOGY> <ENVIRONMENT> <LANDFILL>
<URBAN SOLID WASTES (USW)> <ORGANIC FRACTION OF URBAN SOLID WASTES (OFUSW)> <PRUNING> <COMPOSTING> <WASTE>

INTRODUCCIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

EL manejo integral y sustentable de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reúso y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El punto clave no es cuántas opciones de tratamiento se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales, regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia.

El manejo integral de residuos sólidos, debe ser desde la generación hasta su disposición final, sanitaria y ambientalmente adecuada, para prevenir los riesgos a la salud de la población y el deterioro de la calidad ambiental. Sin embargo, el déficit de servicios y la ausencia de infraestructuras sanitarias para la disposición final de los residuos sólidos municipales, ha originado la formación de botaderos de residuos sólidos en las ciudades, donde se disponen los residuos sólidos sin las mínimas medidas sanitarias y de seguridad, propiciando la proliferación de vectores, prácticas insalubres de segregación y alimentación de animales con residuos sólidos.

El relleno sanitario localizado en la comunidad de Porlón perteneciente a la jurisdicción del Ilustre Municipio de Riobamba de la provincia de Chimborazo contempla 12 hectáreas, donde se localiza la celda emergente que ocupa 3 Ha de la misma, allí se depositan 150 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos producidos en toda la ciudad y periferias de la misma.

Los residuos sólidos que a diario llegan al relleno sanitario presentan una inadecuada gestión ambiental en lo referente a: prevención para la contaminación, clasificación, reciclaje, y reúso, tratamiento y /o valorización y disposición final. Su gestión radica únicamente en procesos de compactación ocasionando impactos ambientales de diversos tipos tales como: contaminación visual, producción de lixiviados, disminución de la vida útil del relleno sanitario y degradación del recurso suelo. Una de las razones por las cuales nuestro país puede realizar proyectos de compostaje es que los porcentajes de producción de desechos sólidos orgánicos en el Ecuador son muy altos. En efecto, según un estudio realizado "la composición de la basura doméstica en nuestro país presenta el 70 % de materiales orgánicos, 17 % de reciclables inorgánicos y 11 % de otros componentes".

Para Nieto-Garibay la incorporación de abonos orgánicos como el compostaje con fines de biorremediación de suelos agrícolas, es una práctica que ha recuperado importancia en los últimos años a nivel mundial por diversas razones. Desde el punto de vista ecológico y ambiental, se ha incrementado la preocupación por fomentar las prácticas agrícolas que armonicen con el cuidado del ambiente (Nieto, 2012, p. 12).

Atlas y Bartha indican que, dentro de la producción de abonos orgánicos, el compostaje es un proceso microbiológico de gran importancia que convierte residuos de materiales orgánicos en diferentes grados de descomposición en un producto estable e higiénico, que puede ser usado como un mejorador de suelo. El proceso de compostaje produce un material de interés agrícola y de comercialización viable: la composta, producto que puede tener diversas aplicaciones como abono, enmienda, sustrato o para la posterior obtención de extractos con probable actividad fungicida. (Atlas, et al., 2011, pp. 25-26).

A nivel mundial, los suelos son perennemente afectados por la erosión cuando el desgaste de superficie edáfica prevalece a su formación. La deforestación, las prácticas agrícolas incorrectas, la cimentación de carreteras y espacios urbanos, además de otras variaciones del terreno, exhiben el suelo a las fuerzas erosivas del viento y agua. La degradación del suelo fruto de la erosión devasta el hábitat de especies, microorganismos, animales, vegetales y rellena de sedimentaciones de lagos, ríos, canales y embalses de navegación. Todo tipo de erosión del suelo arruina países y regiones completas, así como el hábitat de diferentes especies y disminuye la producción de suministros y provoca varias pérdidas financieras (Grijalbo, 2016, p. 36).

Ecuador se identifica por una gran riqueza y diversidad de sus recursos naturales como el suelo. Por tal motivo este país se considera como una nación preferentemente agrícola. No obstante, en varios lugares, los suelos han sido considerablemente dañados por varios métodos erosivos; hoy en día el 50% de la nación está afectada por esta problemática. Cerca de la mitad de este país tiene esta dificultad. La Sierra es la más afectada en cuanto se refiere a la erosión. Otra región que también está en considerable potencial de erosión es la zona occidental de la Costa y en menor porcentaje las zonas ganaderas y habitables del Oriente (Nieto, 2012, p. 14).

En Ecuador se han incrementado los terrenos erosionados con un deterioro rápido del suelo que va perdiéndose especialmente en los ríos, debido al arado en las simas de las colinas, falta de preservación de bosques y de los cultivos de cobertura y depreciación de la capacidad de conservación de agua, dañando el suelo hasta el punto de acabar de convertirlos en desiertos estériles.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de basura biodegradable: desechos de jardín o cocina, papeles, estiércol de animales, serraduras etc. Con ayuda de microorganismos y/o de lombrices se produce tierra humus de los desechos orgánicos. Se puede aplicar tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) como individualmente (en el jardín, en la finca). Con un buen proceso de compostaje, se pueden lograr las siguientes ventajas económicas como son la extensión de la vida útil del relleno sanitario municipal (no es necesario la inversión en un terreno para un nuevo relleno prematuramente), venta o uso del compost, venta o uso de las lombrices (si se realiza el compostaje con el sistema de lombricultura) y reemplazo de fertilizadores artificiales por un producto más económico y natural.

La generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), se ha visto aumentada en la ciudad de Riobamba como consecuencia del incremento de la población, las actividades humanas y el desarrollo de la tecnología. Al no existir un aprovechamiento y una adecuada disposición final de los residuos orgánicos se presenta una amenaza para el medio ambiente, por ello se propone dar tratamiento a los residuos sólidos de origen orgánico a través de la tecnología del co-compostaje.

El compostaje es una alternativa sostenible y sustentable que ayudará al aprovechamiento de macro y micro nutrientes a través de la obtención de un producto llamado “compost” apto para la agricultura. Este trabajo de investigación contribuirá a la prevención del daño producido por vectores procedentes de la degradación de la materia orgánica. De esta forma se podrá contribuir con el desarrollo de nuevas tecnologías para la elaboración de productos innovadores que actúen como enmiendas agrícolas para los suelos además de contribuir a la conservación de la biodiversidad.

Este proyecto tiene como propósito “Prevenir y controlar la contaminación ambiental, como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida, a través del desarrollo de estrategias de descontaminación, mejoramiento de controles de calidad ambiental, y el establecimiento de estándares ambientales aplicables”. Sin dejar de lado la importancia de las ventajas sociales puesto que se fomentaría la generación de empleo organizado, se contaría con actores capacitados y mejoramiento en la salud de las poblaciones cercanas al relleno sanitario.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

General

- Evaluar el efecto del porcentaje de poda sobre el proceso de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) del relleno sanitario de Porlón.

Específicos

- Realizar el levantamiento de la línea base ambiental
- Caracterizar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) de los residuos sólidos de Porlón.
- Elaboración de las biopilas de compostaje
- Realizar el seguimiento del proceso de compostaje
- Evaluar la calidad agrícola del compost obtenido en función del porcentaje de poda.

ANTECEDENTES

En tiempos pasados, la disposición de los residuos sólidos no proyectaba una mayor dificultad, la población era minoritaria y la cantidad de suelo disponible para el aprovechamiento de los residuos era enorme. En la actualidad se ha dado prioridad en el rescate de los contenidos energéticos y uso como abonos de los residuos sólidos, el problema de los residuos ocupa un sitio importante y el sector privado como público solicita actividades propensas a menguar los perjuicios al ambiente por parte de los rellenos sanitarios (Guerra, 2016, p. 8).

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (2017, p. 3) se insinúa que, en distintos momentos, se ha pretendido dar solución al problema de los residuos sólidos en el Ecuador. En los años setenta, el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), adscrito al Ministerio de Salud Pública, poseía el encargo del sector de saneamiento y de agua potable, en el cual también se gestionaba los residuos sólidos. Esta institución efectuó investigaciones en las principales ciudades de cada provincia.

El 28% de residuos sólidos urbanos son depositados en rellenos sanitarios, lugares que por ausencia de una estabilidad técnica-financiera finalizan convirtiéndose en vertederos a cielo abierto. El 72% de los RSU restante es dispuesto en aquellos vertederos, que implican impactos negativos ambientales y afectaciones a la salud de la población.

En el Ecuador existen rellenos sanitarios en ciudades como Cuenca, Azogues, Loja, Guayaquil, Ibarra, Esmeraldas y específicamente en el relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito (RSQ) ubicado en el sector de El Inga, donde se lleva a cabo la disposición final de aproximadamente 2100 toneladas al día de RSU que proviene principalmente de las zonas urbanas y constituye parte del Sistema Integral de residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito; con una producción diaria de aproximadamente 350 m³/día de lixiviado con un volumen acumulado de 57.000 m³ en 13 piscinas de almacenamiento distribuidas en las 40 hectáreas que conforman el relleno sanitario (Rivera, 2017).

En el Ecuador existen 221 municipios de los cuales solo 77 tienen Relleno Sanitario, esto es el 34.8% de los GADs. El primer Relleno Sanitario se construyó en la ciudad de Guayaquil en el año de 1994, a 14.5 km de distancia en el sector denominado Las Iguanas en este lugar en base a las características topográficas, laboran con el método de barranco o vaguada, la recolección trabaja 24 horas, no cuenta con sistemas de estaciones de transferencia y tiene recolectores con capacidad de cargar desechos desde 7 hasta 20 toneladas, adicionalmente, existen recolectores

con sistemas de contenedores tipo “camión volquete”. El promedio de toneladas diarias recibidas en 4 años, es de 1700 ton/día (Pérez, 2017).

El Municipio de Cuenca fue pionero en el manejo de los desechos sólidos, aplicando la separación y clasificación reutilizable, lo que no se reutilizaba se trasladaba a la celda de almacenamiento y tratamiento, aplicando técnica tradicional, que consiste en tendido por capas y compactada, tratando de reducir espacios y volúmenes de aires, luego el tendido de tierra y compactada posteriormente (Cardona, 2015).

La ciudad de Riobamba como en todas las ciudades del Ecuador, genera gran cantidad de desechos debido a las diferentes actividades que en ellas se desarrolla. El relleno sanitario de Porlón ubicado en la parroquia Cubijíes, sector San Jerónimo de Porlón, altura de 2720.15 msnm, carece de un sistema de gestión de residuos sólidos urbanos que establezca la disposición final cuya valorización de dichos residuos favorezca minimizar la contaminación ambiental.

La compactación en lugar de la reutilización y una acorde gestión, sigue siendo la práctica predominante en la disposición final de los RSU dentro del relleno sanitario. En el relleno se permite el ingreso de recicladores pertenecientes a la Cooperativa de Recicladores San Jerónimo de Porlón, que recogen principalmente cartón, plástico y papel para ser comercializados en centros de acopio.

Ante esta realidad la presente investigación pretende dar tratamiento a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), depositada en la celda emergente del relleno sanitario de Porlón. El tratamiento escogido es el co-compostaje constituido de materia orgánica y porcentajes de poda provenientes de parques y jardines, siendo así una tecnología accesible, además se pretende caracterizar la cantidad de residuos sólidos urbanos depositados en el relleno sanitario.

Una investigación anterior determinó que existe un 62,15 % de residuos orgánicos, 10,82 % de plásticos, 6,94 % de papel y cartón, 0,87 % de metales, 5,19 % de vidrio, 2,20 % de textiles y 11,83 % de otros, considerando una producción per cápita urbana de 0.60 kg/Hab/día, en la actualidad estos porcentajes han ido en aumento (Consultora CAV CÍA LTDA, 2016, p. 3).

En una investigación realizada en el 2014 sobre la gestión integral y su valorización de los RSU de la ciudad de Riobamba y su permisible uso en la agricultura, se analizó la generación del residuo, donde el departamento de desechos sólidos aseguró que se generan alrededor de 16 toneladas diarias y 0,9 Kg/hab/día, valor superior al promedio nacional correspondiente al 0,71 Kg/hab/día de RSU, constituidos en su mayor parte por residuos orgánicos. En la investigación

se determinó la composición de los residuos sólidos urbanos que se generan en Riobamba dando como resultado mayoritario del 64,78 % para residuos orgánicos, 13,55 % de plásticos, 12,92 % de papel y cartón, 2,0 % de vidrio, 1,98 % de metales y 4,78 % de otros (Jara Samaniego , 2014, pp. 20-23).

Información brindada por personal que labora en las instalaciones del relleno sanitario de Porlón hicieron mención a un programa piloto cuyo propósito fue la elaboración de vermicompostaje, cumpliendo así con la recogida selectiva de los residuos sólidos orgánicos. En la planta de vermicompostaje se recibía aproximadamente 3 toneladas semanales de residuos, produciendo una cantidad de 2 quintales por metro cúbico cada 3 meses y medio. La planta tenía una superficie de 200 metros cuadrados y 21 celdas para el vermicompostaje. Proyecto que presentó inconvenientes por problemas técnicos, falta de recursos, seguimiento y compromiso de las personas involucradas. (Jara Samaniego , 2014, p. 27)

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Relleno Sanitario

El concepto del relleno sanitario surgió en la primera década del siglo XX en países de Estados Unidos e Inglaterra. La idea era controlar los olores y fauna nociva, así como a concentrar en un solo lugar los residuos de una localidad. El relleno era sanitario porque se tenía como propósito cuidar la salud pública y el bienestar de las especies cercanas a él. En esos tiempos los profesionales de la salud identificaban como fuente de enfermedades y contagios los desperdicios putrefactos que se encontraban dispersos y acumulados en las calles y en sitios inapropiados por su cercanía a las viviendas (Molina, 2015, p. 17).

Según Jaramillo (2015, p. 42), el relleno sanitario es un método de disposición final de desechos sólidos urbanos, que no implica daño alguno hacia la salud y seguridad social; ni altera el ambiente durante su ciclo de operabilidad. Utiliza principios técnicos para compactar el desecho reduciendo de manera eficaz su volumen previniendo posibles afectaciones por la descomposición de la fracción orgánica.

La cantidad y componentes de residuos que llegan a un relleno sanitario dependerán de las técnicas de manejo de los residuos que han sido aplicadas como parte de un sistema de manejo integral. El hecho de que el relleno sanitario puede manejar una gran variedad de residuos da una gran flexibilidad al sistema de manejo integral en su totalidad. Si existen cambios en la cantidad de materiales específicos causados por factores de mercado o estacionales, éstos pueden ser absorbidos por el relleno sanitario si las otras opciones de manejo de residuo están temporalmente sobrecargadas.

Los rellenos sanitarios han avanzado considerablemente en años recientes y continúan su desarrollo, pero aún los más sofisticados normalmente ofrecen los más bajos costos de tratamientos de residuos.

Los rellenos sanitarios han sido y continuarán siendo en el futuro próximo, elementos esenciales de los sistemas de manejo integral de los residuos sólidos, siempre y cuando se ubiquen en lugares apropiados, se diseñen, construyan y operen de manera segura y ambientalmente adecuada.

1.1.1. Características de un relleno sanitario

El progreso de todo establecimiento urbano trae como consecuencia el aumento en la producción de residuos sólidos y por ende de la frecuente contaminación, y es muy común que estos desechos no terminen en sitios de disposición final. Esto se manifiesta en la falta de limpieza de sitios públicos, calles y carreteras, la descarga de residuos en ríos, bosques o en botaderos improvisados. Aquello implica daños a la salud con un mayor uso y contaminación de recursos influenciando en la sociedad. Por esto, surge la necesidad de buscar soluciones adecuadas para el manejo y disposición final de los RSU (León & Plaza, 2017, p. 23)

Se entiende como disposición final al depósito y confinamiento terminal de los RSU en lugares que no incidan su liberación hacia el ambiente y las consecuentes afecciones de la salud social. El relleno sanitario es una de las técnicas que se usan en la actualidad para la disposición final de residuos sólidos urbanos, no perjudica a la salud o seguridad pública y es de bajo impacto ambiental. Es una técnica que emplea principios de ingeniería, donde diariamente los residuos sólidos se mezclan, se esparcen en capas delgadas, se compactan y sepultan bajo una capa de tierra o espuma plástica. El relleno sanitario es en esencia una excavación en el suelo recubierta con un revestimiento impermeable con plástico o arcilla, que reduce infiltraciones al subsuelo, sobre la cual se colocan y se distribuyen los residuos urbanos (Campos, 2015, p. 15).

1.1.2. Tipos de residuos que ingresan al relleno sanitario

Los desechos son desperdicios o sobrantes de las actividades humanas, los cuales se clasifican en desechos orgánicos y material inorgánico como: vidrio, plástico, papel, cartón, textiles, metales, y otros; estos generan efectos dañinos en el medio ambiente como la proliferación de plagas, toxicidad en cultivos, contaminación atmosférica, propagación de enfermedades y problemas paisajísticos; para el control de estos existen varios métodos para su manejo, como son el relleno sanitario y los botaderos a cielo abierto (Careaga, 2017, p. 18).

1.2. Tipos de rellenos sanitarios

Dependiendo de la cantidad de residuos sólidos urbanos que se generen, se establecerá el tipo de relleno sanitario (Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Tipos de rellenos sanitarios y cantidad de residuos sólidos urbanos generados.

Tipo de Relleno Sanitario	Residuos Sólidos urbanos Ingresados (Ton/día)	Tipo de Municipio
Mecanizado	>40	Urbano
Semimecanizado	16 a 40	Urbano y semirural
Manual	15 o menor	Rural

Fuente: Meléndez Carlos, 2004. (Guía Práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos, 2004). Cuadro 1. p.3.

1.2.1. Relleno Sanitario Mecanizado

El relleno sanitario de tipo mecanizado está delineado para las urbes grandes y ciudades que crean más de 4.2 kilo toneladas al día. Por sus requerimientos es un plan de ingeniería suficiente complicado, siendo mucho más difícil que maniobrar con equipos o camiones. Todo está asociado con el volumen y la clase de residuos, la elección del lugar, gestión e implementación del relleno sanitario e infraestructura mecanizada para las operaciones sistematizadas. En la ejecución del relleno se necesita de una máquina compactadora de material sólido, además se requiere de equipos para la movilización de tierra como: retroexcavadora, tractor de oruga, volquete, cargador, entre otros (Roben, 2016, p. 14).

1.2.2. Relleno Sanitario Semimecanizado

Cuando la ciudad tenga o genere entre 20 y 42 toneladas al día de residuos en el relleno, es provechoso utilizar maquinaria de tipo pesado junto con la mano de obra con el propósito de compactar todos los residuos, consolidar los depósitos y con esto lograr tener mayores años de utilidad para el relleno. En estos establecimientos de basura, la maquinaria agrícola o industrial adecuada con un rodillo o pala para la condensación del material siendo usado en botadero Semimecanizado (Armas, et al., 2016, p. 24).

De acuerdo con el volumen de residuos manejados, se puede aseverar que es requerible el manejo de maquinaria que movilice tierras (retroexcavadoras o tractores de orugas) de manera consecutiva al botadero de basura, se manejan más de 42 toneladas diarias. En Ecuador, esto se maneja en poblaciones con cerca de 50.000 personas. Por su variabilidad, la maquinaria puede ser utilizada para la recolección de residuos basta con colocarle un remolque o una compactadora, en base a los requerimientos de la ciudad.

1.2.3. Relleno Sanitario Manual

Los rellenos sanitarios de tipo manual son utilizados en ciudades o pueblos que generan poca basura siendo esta igual o menor a las 16 toneladas al día, así mismo debido a su capital económico no están en la disposición de comprar maquinaria agrícola o industrial para el manejo de los residuos sólidos debido al exuberante gasto que implica la operación y manejo de estos equipos (Roben, 2016, pp. 2-5).

La palabra manual se enfoca a que el aislamiento de los residuos y maniobra de compactación puede ser realizada con la ayuda de varias personas y con el uso de palas, azadones, picos y otras herramientas de uso personal.

1.3. Rellenos como componentes de la gestión integral de RSU

El manejo integral y sustentable de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social de un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reúso y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El punto clave no es cuántas opciones de tratamiento se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia (Semarnat, 2016, p. 19).

Es claro que es difícil minimizar costos e impactos ambientales simultáneamente. Por lo tanto, siempre habrá que hacer juicios de valor para reducir los impactos ambientales globales del sistema de manejo de residuos, tanto como sea posible, a un costo aceptable, encontrar este punto de balance siempre generará debates. Por tal razón, se podrán tomar mejores decisiones en la medida que se cuente con datos para estimar los costos y determinar los impactos ambientales, lo cual puede generar nuevas ideas ecológicas y ambientales en el marco de los procesos de mejora continua (Ochoa, 2016, p. 26).

La disposición final segura y confiable de los residuos sólidos no reciclables ni utilizables es un componente primordial de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, conformado por cuatro elementos cuyo orden jerárquico es: a) reducción en origen, b) aprovechamiento y valorización, c) tratamiento y transformación d) disposición final controlada.

Una adecuada gestión de un relleno sanitario implica el desarrollo exitoso de las etapas de planificación, diseño, operación, clausura, adecuación y uso final. Las iniciativas para prevenir la generación de residuos son una contribución muy importante a la estrategia de gestión integral de residuos sólidos, esto se debe a que reducen la cantidad de materiales desechados que requieren alguna forma de manejo (Careaga, 2017, p. 3).

Por ejemplo, la reducción de empaques de alimentos puede resultar en una mayor cantidad de comida desperdiciada o que se requiera una mayor cantidad de empaques para su transportación. El concepto ha sido adoptado por la industria dando lugar a productos concentrados, empaques más ligeros y rellenables, reducción de empaques de transportación y otras innovaciones. Como parte de los esquemas de minimización de residuos sólidos, se han introducido cambios en los procesos de producción, en donde muchas compañías han adoptado esquemas internos de reciclado o de recuperación de energía. Las industrias también ayudan a reducir los residuos extendiendo la vida de sus productos, de manera tal que se posterga el punto en el que los productos se convierten en residuos.

1.4. Criterios de calidad ambiental de la disposición de residuos

El manejo ambiental de residuos de acuerdo con Farra (2014, pp. 21-25) el cual lo define como la adopción de todos los pasos prácticos necesarios para asegurar que no se provoquen efectos adversos a la salud o al ambiente como resultado de dicho manejo. Para lograr el manejo ambiental adecuado de los residuos, se requieren desarrollar e instrumentar disposiciones legales y crear las condiciones institucionales, técnicas y financieras, para ello tomando en cuenta los aspectos de política, los principales criterios de calidad ambiental relacionados con la disposición de residuos y que ameritan hacer un seguimiento detallado son: (Farra, et al., 2014, p. 25).

- Escape incontrolado de gases que puedan migrar fuera del sitio del relleno, produciendo malos olores y condiciones potencialmente peligrosas.
- Impacto de la emisión de gases en el efecto invernadero.
- Generación incontrolada de lixiviados, produciendo contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Reproducción de vectores sanitarios por inadecuada operación del relleno, con riesgo a la salud.
- Riesgo sanitario y ambiental por escape de gases y lixiviado, después del cierre del relleno.
- Riesgos y amenazas provocados por inestabilidad del relleno.

Las políticas requieren:

- Ser fácilmente entendibles por todos los actores involucrados.
- Reflejar en forma balanceada los intereses de los distintos sectores sociales.
- Ser puestas en práctica en todo el territorio nacional
- Ser accesibles a todos
- Tener un enfoque integral
- Involucrar la participación solidaria de todos los sectores sociales
- Fomentar alianzas y sinergias
- Incentivar la prevención de la generación, la minimización y el manejo integral adecuado de los residuos (Farra, et al., 2014, p. 25).

Los elementos claves para establecer un manejo ambientalmente adecuado de los residuos incluyen los referidos a continuación: (Nippon, et al., 2017, p. 2).

- Infraestructura regulatoria y vigilancia de su aplicación
- Sitios e instalaciones autorizadas, así como tecnologías para el manejo integral de los residuos y equipos para el control de la contaminación que permitan la prevención o reducción de la misma a niveles socialmente aceptables.
- Operadores capacitados de los sitios e instalaciones de manejo integral de residuos, que supervisen que su operación se ambientalmente correcta.
- Planes de acción a instrumentar cuando la supervisión y el monitoreo de los sitios indiquen un nivel de emisiones contaminantes inaceptables (Nippon, et al., 2017, p. 2).

1.5. Jerarquización de las etapas del manejo de residuos sólidos

El manejo de los residuos sólidos en el país históricamente, se ha hecho en función de la prestación del servicio de aseo. La preocupación por los residuos generados en los centros urbanos han partido de consideraciones de tipo higiénico y sanitario, por lo tanto, el problema se abordó desde el momento en que la comunidad presentaba los residuos en la vía pública para que alguien los retire; en dicho momento apareció la necesidad de establecer un procesos de recolección, como parte fundamental de un servicio público, sin importar dónde irían a parar dichos residuos, y se establecieron como métodos de dispersión la descarga al aire libre o a cuerpos de agua sin

considerar las externalidades de tipo ambiental, lo cual propició una cultura hacia la disposición incontrolada (Castro, et al., 2016, p. 31).

La ley ambiental implementada sobre la gestión integrada de residuos sólidos (GIRS), orientada hacia las acciones que vincula la producción de residuo en la población y el fin de valorizarlos con técnicas que minimicen el impacto negativo sobre la naturaleza y salud social.

La gestión integral de residuos implica una jerarquización de fases específicas. Minimización en la fuente, valorización y su aprovechamiento y etapa concluyente y clausura.

1.5.1. Minimización en la fuente

La minimización en la fuente situada en la primera fase jerárquica debido a la importante minimización de residuos asociados a la reducción de recursos e impactos ambientales. Las técnicas de minimización para los residuos incluyen las tecnologías limpias y, además, una serie de actuaciones tendientes a reducir la cantidad o la peligrosidad de los residuos generados, a disminuir la necesidad de tratamiento final, a la conservación de los recursos y mejoras ambientales (Cardona, 2015, p. 16).

Lo más importante dentro de las tecnologías preventivas que permitan una buena gestión de los productos residuales es atender al principio básico de no generación de los residuos. Por ello es tan importante dentro de las técnicas de minimización hacer primero una reducción en la fuente, que además de reducir o eliminar la carga contaminante, ayuda a la empresa a obtener beneficios económicos (Jaramillo, 2016, p. 4).

La rentabilidad de las técnicas de minimización es muy importante para los empresarios. Su implantación puede conllevar gastos, a veces altos, de adquisición de equipos y de transformación del proceso. En general, estas inversiones son más rentables que la construcción de una depuradora, de un vertedero o de una incineradora.

1.5.2. Valorización y su Aprovechamiento

El aprovechamiento asocia la segregación y la recolección de los residuos en la fuente, su valorización hacia la producción de nuevos elementos y la obtención de energía en forma de calor y biogás (Elias, 2015, p. 18).

El beneficio del residuo, un aspecto primordial que favorece la reducción del consumo de recursos y contaminación hacia la naturaleza, también posee un potencial económico que favorece el reciclaje. En consecuencia, la primera acción sobre los residuos generados es valorarlos y aprovecharlos.

La mayor parte de los residuos generados en la transformación de vegetales se destina a la alimentación de ganado. Sin embargo, existe una fracción importante que va a vertedero, e incrementa el problema existente de falta de espacio. Para contribuir a la sostenibilidad del medio y satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras es necesario recuperar en lo posible estos residuos.

1.5.3. Transformación del residuo sólido

La transformación de residuos involucra la modificación física, química o biológica. Las transformaciones físicas, químicas y biológicas que pueden ser implementadas a los RSU para mejorar la eficiencia de las operaciones y sistemas de la GIRS. Los residuos que no son aprovechables, se aplican tratamientos para mitigar su peligrosidad. (Echarri, 2015, p. 24)

Actualmente, en la industria de transformados vegetales los principales destinos de los residuos sólidos orgánicos generados en sus procesos son:

- Alimentación animal: gran parte de los residuos orgánicos vegetales sólidos se destinan para alimentación animal, especialmente para bovino y ovino.
- El transporte de los residuos hasta la explotación ganadera es diario, es el ganadero el que se encarga del traslado. Así estos residuos destinados a la alimentación de ganado pueden considerarse no como residuos sino como subproductos.
- Los residuos de tipo vegetales poseen una elevada concentración de humedad provocando peligros en su almacenamiento. Por otro lado, el transporte del subproducto con niveles de humedad elevados, aumentan el coste del mismo.

1.5.4. Etapa concluyente del residuo y clausura

El tratamiento de los desechos sólidos se define como el conjunto de operaciones físicas, químicas, térmicas o biológicas, que tiene la finalidad de reutilizar los desechos, disminuir o eliminar su potencial peligro, o adaptar sus propiedades físicas, químicas o biológicas a los

requerimientos de su disposición final. Por otra parte, la disposición final de los desechos sólidos es la operación controlada y ambiental adecuada del manejo de los desechos para la conservación de fuentes naturales (Campos, 2015, p. 54).

Existen diferentes vías o alternativas para disponer los residuos sólidos. En este estudio se analizará la producción de abono orgánico, también conocido como compostaje. El buen funcionamiento de un relleno sanitario depende, en gran medida, de la metodología de operación que se escoja. Existen varios métodos desarrollados con base en la experiencia de campo, a saber: método de trinchera, método de área y método de depresión (Elias, 2015, p. 12).

El método de trinchera se maneja cuando se posee un correcto depósito de material de cubierta y el nivel freático está a suficiente profundidad. La operación del relleno sanitario comienza con la excavación de una porción de trinchera, el material excavado se amontona en un terraplén, puesto que luego es utilizado como material de cubierta en otros sitios de interés. Los desechos se colocan en la trinchera, distribuidos en capas finas y compactadas, hasta que se alcance el nivel previamente fijado. Los desechos deben quedar cubiertos al final del día, sin importar el nivel que se haya alcanzado (Escamirosa al., 2016, p. 26).

Finalmente, el método de depresión, como su nombre lo indica, se utiliza en sitios en donde se encuentran depresiones naturales o artificiales que pueden ser utilizadas para rellenos sanitarios. La técnica de depósito de los desechos en estos sitios depende de las características geométricas, del tipo de material de cubierta, las condiciones hidrológicas, así como geológicas y las condiciones de acceso.

1.6. Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son sustancias, objetos, materiales o elementos que pierden valor de aprecio o uso para quienes lo generan y por tal motivo deciden descartarlos. Sin embargo, cabe aclarar que lo que para unos es un desecho inservible, para otros puede ser un elemento, objeto, sustancia o material que aún no ha terminado su vida útil. Por lo anterior, se puede afirmar que el concepto del término “residuos o desecho sólido” no es objetivo, por estar determinado por una decisión del generador (Campos, 2015, p. 13).

Se ha mencionado a lo largo de este trabajo, que el objeto de la investigación es abordar el tema de los residuos cuya generación, manejo y disposición final representan un asunto de interés público sobre el cual hay que actuar de inmediato, pero ¿qué se entiende por residuo? de acuerdo

con Echarri “llamamos residuo a cualquier tipo de material que se genera por la actividad humana y que está destinado a ser desechado” (Echarri, 2015, p. 34).

En términos generales los residuos sólidos urbanos son los que se originan de la actividad doméstica y comercial, y se producen en mayor cantidad en las ciudades; en los países desarrollados en los que cada vez se usan más envases plásticos, de aluminio, papel, y muchos productos innecesarios, la cultura de "usar y tirar" se ha extendido a todo tipo de bienes de consumo, y por tanto las cantidades de basura que se generan han ido creciendo hasta llegar a cifras muy altas. (Romero Castillo, 2014, p. 62).

Los residuos peligrosos se generan en cantidades limitadas a través de la mayoría de las actividades industriales. En términos de generación, preocupa la identificación de la cantidad y tipo de residuo peligroso proveniente de cada fuente, con énfasis en aquellas fuentes en donde se generen cantidades significativas.

1.6.1. Gestión integrada de residuos sólidos

La GIRS se detalla como la elección e implementación de técnicas, tecnologías y programas para establecer metas y objetivos específicos para su tratamiento. Se implementan normativas para el control del residuo en un determinado sitio o localidad. El manejo y tratamiento de residuos sólidos en las ciudades se debe realizar con una visión integral que considere los factores propios de cada localidad para asegurar la sostenibilidad y beneficios de la misma. El sistema de gestión de residuos sólidos que ofrece la entidad que esté a cargo, debe reunir características que se indican en la tabla 2-1 (Cardona, 2015, p. 25).

La GIRS pretende ser ambientalmente efectivo, es decir, que exista una reducción en la que respecta a cargas ambientales contaminantes. Debe ser posible económicamente para todos los miembros de la sociedad, si no se puede pagar el costo del sistema, éste colapsará. Debe ser socialmente aceptable, si el público no está satisfecho con el sistema y no participa en él, el sistema fallará (Castells, 2017, p. 4).

Tabla 2-1 Gestión integrada de residuos sólidos

Aspecto	Descripción
Técnico	Comprende desde la producción hasta la disposición final de los residuos sólidos. Debe ser sencillo y contemplar el uso de recurso humano propio de la zona.
Social	Ayuda a la aceptación de la comunidad, es participativo y permite la intervención activa de la sociedad
Económico	Los costos de implementación, operación, mantenimiento e incluso administrativo debe ser viable
Organizativo	Administración y gestión del servicio simple y dinámica; es racional
Salud	Debe constar dentro de un programa de prevención de enfermedades infecciosas.
Ambiental	Evita impactos ambientales negativos en el suelo, agua y aire

Fuente: Castells, 2017. (Valoración de Residuos Procedentes de Grandes Industrias, 2012). Cuadro 5 p. 52

La GIRS involucra la utilización de todas las opciones en el tratamiento de residuos a escala local. Esto no significa que se deban usar todas simultáneamente sino considerar las ventajas y desventajas de cada opción.

La gestión de los residuos considera todos los residuos sólidos generados en un ámbito territorial establecido. Esto implica, por ejemplo, incorporar en el flujo de residuos tanto los de origen domiciliario como industrial, comercial, agrícola, textil etc., o considerar residuos peligrosos o clínicos por separado de acuerdo a normas legales y de higiene que deben seguirse y cumplirse según lo indique (Leite Mansur, et al., 2015, p. 14).

El concepto de gestión integrada de residuos sólidos considera todo el ciclo de producción, consumo, desecho y disposición final. La práctica de este concepto va desde la minimización de la generación de residuos en el proceso productivo, incluyéndose los embalajes, hasta la maximización de su reaprovechamiento, a través de la implementación de sistemas, recuperación y reciclaje de este modo solo queda para disposición final los desechos que no tiene ninguna utilidad.

Esta reducción colabora a la sustentabilidad económica y ambiental de los sistemas, debido a la disminución de la cantidad de desechos a ser recolectados, transportados y enviados a los rellenos

sanitarios que, como consecuencia, ocuparán áreas de menor extensión o tendrán una vida útil más prolongada. (Leite Mansur, et al., 2015, pp. 26-30)

El objetivo general del manejo de los residuos sólidos es el de minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente, producidos por la disposición inadecuada de los residuos, principalmente de los peligrosos. Para el manejo adecuado de los residuos sólidos, es necesario considerar el flujo de materiales en la sociedad, la reducción de materia prima, producto de la optimización de los procesos industriales, la reducción de la cantidad de residuos, la reutilización de los materiales, la recuperación de los materiales y la energía.

1.6.2. La gestión integral de los residuos sólidos urbanos

La GIRSU se especifica como la elección e implementación de técnicas, tecnologías y programas de gestión primordial para alcanzar metas y objetivos específicos de gestión de los residuos generados en una determinada zona geográfica. El objetivo básico de la GIRSU es procesar los residuos de la sociedad de forma que sea compatible con las preocupaciones ambientales, la salud pública y con los deseos del público respecto a la reutilización y reciclaje de los materiales. Atendiendo a estas metas, la gestión de residuos desarrollará sus dos funciones básicas: la evacuación de residuos y la recuperación de recursos. El problema principal que se plantea en la gestión es buscar una combinación apropiada de tecnologías para cada situación, de forma que se logre una gestión eficaz y rentable desde el punto de vista económico y ambiental, utilizando todos aquellos recursos disponibles hasta el momento (Márquez Benavides, 2014, p. 5).

1.6.3. Caracterización de residuos sólidos

Los residuos sólidos consisten en materiales desechados por sus propietarios, quienes consideran que estos ya no tienen un valor; aunado a esto, la pérdida de su potencial utilización, ha llevado a identificarlos como importantes actores involucrados en problemáticas ambientales. De acuerdo a diversas estimaciones y estudios realizados, la generación de residuos sólidos municipales aumentó en el país de 0.3 Kg/día/habitante, desde los años cincuenta hasta 1 kg/día/habitante a principios de los noventa. Siendo este dato, el último que oficialmente el estado mexicano ha emitido (Careaga, 2017, p. 36).

Es por ello que, al haber un incremento de residuos sólidos urbanos, resulta importante realizar estudios de caracterización permitiendo el uso de Normas para recolectar datos que determinen la cantidad de residuos, su composición y sus propiedades, abarcando una zona geográfica bien delimitada y especificada.

Los residuos sólidos urbanos son una fuente importante de contaminación que no cuentan con una adecuada disposición final en Ecuador, por lo que han generado problemas ambientales tales como la contaminación de ríos, generación de malos olores, acumulación de gases tóxicos, entre otros, poniendo en riesgo a la población debido al foco de infecciones que se generan. Tal y como afirma Gutiérrez (2016, p. 32), "La contaminación de los suelos, a diferencia de la del aire y el agua, puede ser un proceso irreversible, que, a su vez, causa contaminación en el entorno e indirectamente, facilita la introducción de tóxicos en la cadena alimentaria" y más adelante Nadal (2007, p. 12).

Confirmando que, al depositar residuos sólidos a cielo abierto, no solo se afecta la calidad del aire, sino que además hay riesgos de accidentes químicos e incidencia de malformaciones congénitas, así como de contaminación de las treinta y un cuencas hidrológicas de mayor importancia en nuestro país.

Razón por la cual la caracterización de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es prioritaria en Ecuador para optimizar el manejo de la basura, logrando un decremento de los RSU en rellenos sanitarios y vertederos de basura, aprovechando al máximo el segundo ciclo de vida que puedan tener varios de ellos, tal y como la ciudad de Quito lo aplicó en su estudio de caracterización y generación de los residuos sólidos.

1.7. Biopila y sus características

El proceso de compostaje requiere de biopilas, su tamaño y en especial su altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C/N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo (Alvarez, 2017, p. 69).

Es el sistema más antiguo que se conoce y se realiza en pilas, de altura reducida, y no se mueven durante el compostaje. La ventilación es natural a través de los espacios de la masa a compostar. Las dimensiones de los montones deben estar en función de los equipos utilizados para compostar; no interesa que sean más altos de 1,5 m, con una anchura en su base de unos 2,5 a 3 m, de la longitud deseada y de frente triangular, debiendo a la presencia mayor de pendiente en los lugares o épocas más lluviosas (Román, et al., 2016, p. 26).

Este tipo de compostaje tiene como principal desventaja el largo periodo de proceso requerido y que sólo es posible con material o mezclas muy porosas en que la aireación pasiva se da naturalmente. En la mayor parte de las experiencias de compostaje industriales se prefieren sistemas con volteo o aireación forzada.

1.7.1. Compostaje en pilas windrow

Para este sistema Jaramillo y Zapata (2008, p. 116) señalan que antes de formar las hileras del sistema, es necesario realizar un proceso de trituración y tamizaje del material orgánico hasta obtener un tamaño de partícula aproximadamente de 2,5 a 5,5 cm y así alcanzar un contenido de humedad entre 50 a 60%, después de esto, se procede a formar las hileras, el material es volteado hasta dos veces por semana y es necesario mantener una temperatura óptima alrededor de 50 a 55 grados centígrados (°C). (Cantor Castro, 2014, p. 41) (Jaramillo, et al., 2008, p. 116).

El compostaje es un proceso biológico que estabiliza la materia orgánica y destruye microorganismos patógenos, permitiendo su utilización como enmienda de suelos. Una de las técnicas usualmente empleadas es el sistema en hilera debido a su sencillez, menor inversión inicial y fácil mantenimiento. En el campo, el material se dispone en grandes montículos de 2-4m de altura, que pueden o no estar cubiertos. La aireación se lleva a cabo por convección natural ayudada por volteos periódicos que se realizan en forma manual (pequeña escala) o mecánica. (Modini, et al., 2016, p. 172)

1.8. Compostaje

Proceso de biotransformación en el que se produce la descomposición aerobia de restos orgánicos bajo condiciones controladas y mediante el cual, diversos grupos de microorganismo actúan sobre las materias primas para producción de compost, un producto estable con excelentes cualidades como fertilizante y bioestimulante (Román, et al., 2016, p. 32).

El compost, es el producto final obtenido mediante un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, en condiciones controladas de humedad y temperatura, que oscila entre 50 y 70 °C, provocando, así, la destrucción de elementos patógenos y por tanto la máxima inocuidad posible del producto (Soto, 2016, p. 43).

La estrecha relación existente entre el contenido de materia orgánica de un suelo y su fertilidad es un hecho ampliamente constatado y aceptado universalmente, la materia orgánica mejora la

estabilidad del mismo, aumentando su porosidad y propiedad de retención hídrica, favoreciendo así el intercambio de gases y agua y la capacidad exploratoria del sistema radicular de las plantas. Así mismo, aumenta su capacidad de cambio catiónico, favoreciendo la fijación de nutrientes, manteniéndolos durante más tiempo a disposición de las plantas. Del mismo modo, aumenta el estado de agregación del suelo y el desarrollo de su flora microbiana. Por todo esto, una de las vías más importante de regeneración de suelos, sobre todo en la cuenca mediterránea, consiste en la incorporación al mismo de materia orgánica con objeto de restablecer sus propiedades por medio de todas las acciones directas o indirectas que esta ejerce (Alvarez, 2017, p. 12).

1.9. Seguimiento del control de proceso de compostaje

1.9.1. Volteo de compostaje

Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo. Es importante optimizar el espacio de operación y volteo (Kalil, 2015, pp. 25-27).

Otro factor determinante para obtener un producto de buena calidad a corto plazo es la presencia de oxígeno durante el proceso de compostaje, especialmente en las fases iniciales. Para favorecer una buena oxigenación se debe manejar un volteo frecuente, tamaño de partícula adecuado, mezclar en la receta materiales que permitan una buena oxigenación, y manejo adecuado del agua, para que los microorganismos actúen de mejor manera (Andrade, 2015, p. 54).

La frecuencia de volteo en las pilas del compostaje deber estar determinada por la presencia de oxígeno. Para estos se han diseñado equipos que miden la presencia de oxígeno directamente al interior de la pila de compost, o en su defecto la presencia de CO₂. Se recomienda voltear cuando la concentración de CO₂ esté por encima del 8%. Si no se cuenta con el equipo adecuado, la frecuencia de volteo puede estar determinada por temperatura, que es un indicador indirecto de la actividad microbiana (Soto, et al., 2016, p. 45).

Es claro que, aunque el compostaje es un proceso predominantemente aeróbico, en todo compost, se darán puntos de anaerobiosis. Los organismos anaeróbicos son menos eficientes en su metabolismo, por lo que el compostaje anaeróbico es más lento que el proceso aeróbico. Una gran desventaja que presenta el proceso anaeróbico es la presencia de malos olores, ya que los olores

son generados en su gran parte por condiciones de reducción. Inoculaciones con microorganismos fermentadores pueden ayudar a evitar estos problemas.

1.9.2. Monitoreo del compostaje

El compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por diferentes microorganismos, para lo cual se debe tener en cuenta parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad del sustrato, temperatura, pH y la relación C/N (Román, et al., 2016, p. 26)

Además de los parámetros antes mencionados, existen otros factores que son importantes para monitorear el proceso de compostaje; estos incluyen: índice de germinación, micro biota, tamaño de partícula, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, metales pesados, macro y micro nutrientes (Alcolea, et al., 2016, p. 61).

1.10. Fases del compostaje y microorganismos

El proceso de compostaje se define como una descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones controladas que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio (Castilla & León, 2017, p. 60). Durante este proceso sucede una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una estrecha relación entre la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos que actúa en cada fase.

De acuerdo con Álvarez (2017, p. 32) las fases son las siguientes:

Preparación: Se acondicionan y mezclan los materiales de partida para regular su contenido en agua, el tamaño de las partículas, eliminar los elementos no transformables y ajustar los nutrientes para lograr una relación adecuada C/N.

Descomposición mesófila: (< 40 °C) Se produce una degradación de azúcares y aminoácidos por la acción de grupos de bacterias (*Bacillus* y *Thermus*).

Descomposición termófila: (40-60°C) Se degradan ceras polímeros y hemicelulosa por hongos del grupo de los actinomicetos (*Micromonospora*, *Streptomyces* y *Actinomyces*).

Descomposición mesófila de enfriamiento: (< 40 °C) Se realiza la degradación de las celulosas y ligninas por bacterias y hongos (*Aspergulus* y *Mucor*).

Maduración: Se estabiliza y polimeriza el humus a temperatura ambiente, desciende el consumo de oxígeno y desaparece la fitotoxicidad.

Afino: Se mejora la granulometría, se regula la humedad, se elimina el material no transformado, se realizan análisis, controles de calidad y en su caso el envasado y etiquetado.

A través de este proceso, se transforman residuos y subproductos orgánicos en recursos hasta ahora no utilizados y se vuelve hacia una agricultura más racional, acorde con el respeto a la naturaleza y más sostenible, lográndose mayor rentabilidad a medio y largo plazo.

1.11. Parámetros a controlar en el proceso de compostaje

El grado de descomposición de la materia orgánica puede estimarse en función a la disminución de la temperatura de la biomasa, la cantidad de materia orgánica disponible, la relación carbono/nitrógeno (C/N) menor o igual que 15.5 y la relación Sólidos Volátiles/Sólidos Totales (SV/ST) por debajo de 0,3 (Rodríguez & Cordova, 2016, p. 43).

El nitrógeno contenido en el compost se encuentra en forma asimilable para las raíces, con la ventaja de ser retenido en la capa cultivable del suelo y es liberado lentamente evitando pérdidas por lixiviación. En la Tabla 3-1 se detallan los parámetros de control de los residuos orgánicos durante la fase inicial y final del proceso de compostaje.

Tabla 3-1 Parámetros de control durante el compostaje

Parámetros de control	Fase Inicial	Fase Final
Relación C/N	< 30	< 15
pH inicial	6,8 – 7,5	7,5 -8,5
Materia Orgánica (%)	60 – 70	< 30
Humedad (%)	40 – 50	< 20

Fuente: (Tolagasi, 2013)

1.11.1. Relación C/N

En cuanto a los factores críticos, el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo vivo, y deben encontrarse en proporciones adecuadas para un

buen compostaje. Los microorganismos de una composta utilizan el carbono para conseguir energía, y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. El parámetro que mide esta proporción se llama relación “carbono/nitrógeno” (C/N) y los valores ideales de esta relación C/N para un buen compostaje se encuentran entre 25 y 35 respectivamente. Si el material de partida contiene demasiado carbono, la relación será muy alta y el proceso será lento, las temperaturas no subirán suficientemente y se perderá el exceso de carbono en forma de dióxido de carbono. Si al contrario el material contiene demasiado nitrógeno, la relación es baja y se producirá pérdida de este elemento en forma de amoníaco NH_3 (Rodríguez, et al., 2016, p. 2).

Los microorganismos consumen por lo general 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se establece que la relación C/N teóricamente ideal para el compostaje de un sustrato es de 25-35. El valor de la relación decrece según avanza el proceso de compostaje, por lo que es importante como indicador de la evolución del proceso, ya que refleja el estado de los materiales que se están compostando. Se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando la relación C/N se encuentra entre 12 y 20 (López, 2015, p. 98).

1.12. Norma Técnica NTRS- 3 - Muestreo-Método de Cuarteo

Este procedimiento permite la obtención de especímenes para el análisis físico– químico de los residuos de comida de las cafeterías y de jardín. Esta Norma Técnica, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio. Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta Norma. Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio.

Antes de la prueba, los residuos sólidos recolectados en el muestreo, son mezclados con palas hasta considerar haber logrado una mezcla completa, esto con el objeto de alcanzar una mayor homogeneidad y uniformidad del material. Enseguida se practica un cuarteo a la muestra total, como se indica en la norma NT-RS-3 MUESTREO - METODO DE CUARTEO, es decir, se divide en cuatro partes proporcionales, de donde se toma una o varias de ellas según sean necesarias, y se introducen en un recipiente previamente dispuesto hasta completar su volumen o alcanzar el nivel de su superficie libre. Hecho esto, se coloca en la báscula y se determina su peso, que al relacionarlo con el volumen nos da el peso volumétrico buscado y establecido en la norma NT-RS-4 PESO VOLUMETRICO "IN-SITU" (Lameda, 2015, p. 11).

1.12.1. Composición de los residuos sólidos

La cuantificación de componentes de los residuos, se realiza a través de una clasificación previa de subproductos que una vez separados de la muestra inicial por el método de cuarteo, según la norma NT-RS-3 METODO DE CUARTEO, son cuantificados sus porcentajes y pesos correspondientes de la muestra total clasificada. Para lo cual se considera residuos como: materia orgánica (residuos alimenticios, residuos de jardinería), papel, metal, plástico, cartón, tela, vidrio transparente y de color (Ruiz, 2016, p. 6).

1.12.2. Procedimientos

Para efectuar el método de cuarteo se utiliza la metodología de Ruiz (2016, p. 31) el cual manifiesta que se requiere la participación de al menos tres personas. El equipo requerido antes descrito, estará de acuerdo con el número de personas que participen en el cuarteo. Para realizar esta técnica, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación.

El montón de residuos sólidos se traspaleará con pala y/o biello, hasta homogeneizarlo, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D, y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos, con los cuales se debe hacer la selección y cuantificación de subproductos. De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 kg aproximadamente de residuos sólidos para los análisis del laboratorio físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina, el peso volumétrico de los residuos sólidos " in-situ".

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas, evitando que queden expuestas al sol durante su transporte además se debe tener cuidado, en el manejo de las bolsas que contienen la muestra para que no sufra ninguna rotura.

1.12.3. Preparación de muestras para su análisis en laboratorio

De acuerdo con Ruiz (2016, pp. 12-15) una vez obtenida la muestra por el método de cuarteo y llevada al laboratorio en una bolsa rotulada, se procede a la trituración y molienda de ésta. El rótulo de la bolsa hace referencia al día en que se realizó el cuarteo y a la fuente de generación.

Análisis de humedad en laboratorio

En base a la metodología de Ruiz (2016, pp. 12-15) para esto se utiliza el denominado método de la estufa, el cual determina el porcentaje de humedad contenido en los residuos sólidos orgánicos generados. Este método se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establece en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua.

Análisis de pH en laboratorio

De acuerdo con Ruiz (2016, p. 16) se calibra el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH = 4, pH = 7 y pH = 11; según fuese el tipo de residuos por analizar. Se pesan 10 g de la muestra y se transfieren a un vaso de 250 ml. Se añade 90 ml de agua destilada, mezclar por medio de un agitador durante 10 minutos. A continuación, se sumerge el electrodo, el valor de pH de la solución, es la lectura obtenida en la pantalla del potenciómetro. Se saca el electrodo de la solución y se lava con agua destilada.

La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado, no debe exceder 0,1 unidades de pH, en caso contrario se debe repetir la operación.

1.13. Marco Legal Aplicable

La legislación que se aplica al presente proyecto considera la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y la producción de compost como abono orgánico para uso agrícola, logrando establecer e incentivar buenas prácticas ambientales.

La constitución de la República del Ecuador es la norma principal que rige al país y es quien reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir destacando la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados en el Ecuador. (Constituyente, 2008, p. 24).

El Ministerio del Ambiente está destinado al derecho legal en la formulación y control de la política pública referente a la gestión de los residuos sólidos mediante el Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS). Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) Municipales tienen la competencia y responsabilidad en la ejecución de proyectos y

planes de manejo, de acuerdo a lo establecido en el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). (Jara Samaniego , 2014, p. 11).

De acuerdo a la constitución de la República, los gobiernos locales gozarán de autonomía política, administrativa y financiera, para ello se dispone por ley que se establezca el sistema Nacional de Competencias, los mecanismos de financiamiento y la institucionalidad responsable de administrar los procesos a nivel nacional.

El 13 de octubre de 2011, el Consejo Municipal de Riobamba expidió la Ordenanza que regulará la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, en uso de los derechos que le confiere el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. Consta de seis capítulos, cuarenta y siete artículos, cinco disposiciones generales, una disposición transitoria y una disposición final.

En esta ordenanza, se atribuye como residuos sólidos domiciliarios de viviendas a los desperdicios de la alimentación del consumo doméstico; al producto del barrido del inmueble y aceras y a los envases, cartón y papeles procedentes de las compras para el uso doméstico.

En tanto que los residuos especiales asociados son aquellos que deriven de los sitios donde se ejerza actividades de comercio, industria o de servicio, así como de centros de concentración públicos o privados, centros educativos, de espectáculos, mercados, ferias, parques de atracciones, etc. y son los siguientes: cenizas o residuos industriales de fábricas, talleres y almacenes; desperdicios de mataderos, mercados, ferias, parques zoológicos y demás establecimientos similares; desperdicios de la rama de hotelería; animales muertos y productos decomisados; restos de mobiliario, chatarra, árboles navideños, jardinería o poda de árboles, salvo lo dispuesto en el artículo anterior; y otros similares.

No serán considerados como residuos especiales los que provengan de locales, establecimientos y domicilios tales como: las tierras de desmonte y los escombros o desechos de obras; el estiércol de cuadras, establos y corrales. (Jara Samaniego , 2014, pp. 14-15).

Tabla 4-1 Marco legal aplicable para residuos sólidos

Legislación	Artículos aplicables al trabajo de investigación	
Constitución de la República del Ecuador (R.O. No. 449, 2008/10/20)	Artículo: 1 y 3	Numeral: 4 - 5, 7 - 8
	Artículo: 10 - 15; 30 - 32, 66, 71- 74, 83, 263 -264	Numeral: 1 - 4
	Artículo: 275, 277	Numeral: 1
	Artículo: 278	Numeral: 2
	Artículo: 395	Numeral: 1 - 3
	Artículo: 396 - 397	Numeral: 1 - 6
	Artículo: 398 - 399, 408, 411, 413 - 415	-----
Políticas Nacionales de residuos sólidos	Artículo: 32 - 33	-----
Ley Orgánica de Salud (Ley 67, Suplemento R.O. 423, 2006/12/22)	Artículo: 1, 3, 6, 11, 95 - 98, 100, 104, 117 - 118	-----
Ley de Prevención y Control de la contaminación ambiental registro oficial. Suplemento 418, 10/09/2004	Artículo: 1, 6, 10 - 11, 13 - 15, 92	-----
Ley de Gestión Ambiental registro oficial. Suplemento 418, 10/09/2004	Artículo: 1 - 2, 5, 7 - 8, 13 - 23	Literal: a, b, c
	Artículo: 24 - 46	Literal: a, b
Ley Forestal y de Conservación de áreas naturales y vida silvestre codificación 2004-017 R.O. N°418; septiembre 10 de 2004	Artículo: 1 - 5	Literal: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j
	Artículo: 6	Literal: a, b, c, d, e, f, g
	Artículo: 7-10, 12 - 13, 16, 23 - 24, 29	Literal: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j
	Artículo: 50 - 51	Literal: a, b, c, d, e, f
	Artículo: 52, 54 - 62, 64, 71 - 72, 75, 80, 89	-----
Ley Orgánica del Servicio Público (2010/10/06)	Artículo: 4	-----
Ley de Empresas Públicas (Ley s/n, R.O.S. 48, 2009/10/16)	Artículo: 4, 17, 225	-----
Ley del Régimen Municipal	Artículo: 3, 5, 12	-----
COOTAD (R.O. 2010/10/15)	Artículo: 7, 54	Literal: k
	Artículo: 55, 57	Literal: a
	Artículo: 87	Literal: a

	Artículo: 84	Literal: k
	Artículo: 116, 136, 137, 263	Competencia: 1 – 8
	Artículo: 264	Competencia: 1 – 14
	Artículo: 267	Competencia: 1 – 8
	Artículo: 47	Capítulo: VI
	Artículo 55 – 59	Sección I
	Artículo: 60 - 61	Parágrafo: I
Ministerio de Ambiente. Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Año II - N° 316 Quito, lunes 4 de mayo de 2015.	Artículo: 60 – 61	Parágrafo: I
	Artículo: 62	Parágrafo: II
	Artículo: 63 - 65	Parágrafo: III
	Artículo: 66 – 68	Parágrafo: IV
	Artículo: 69 – 72	Parágrafo: V
	Artículo: 73	Parágrafo: VI
	Artículo: 74	Parágrafo: VII
	Artículo: 75 – 77	Parágrafo: VIII
Ordenanza Municipal para el manejo integral de desechos sólidos en el cantón Riobamba / 021-2011.	Artículo: 7	Capítulo: I
	Artículo: 12, 14, 18, 20 – 21-22, 24 – 25	Capítulo: II
	Artículo: 34, 36	Capítulo: V
Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental. Ley 67 R.O. Suplemento 423 del 22 de diciembre de 2006	Artículo: 12	Literal: a, b, c
	Artículo: 41	-----
Norma INEN 3864 (2013/09/27)	Ítem: 1 – 6	-----

Fuente: (Valencia Cofre, 2016, pp. 15-18)

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

1.13.1. Marco Legal implementable en el uso agrícola del compost

Para el caso del Ecuador no se tiene definida una normativa vigente que estipule la calidad del compost como enmienda orgánica, en base a lo citado es necesario recurrir a normativas internacionales para establecer y comparar los límites permisibles de los diferentes metales pesados, agentes tóxicos como vectores y patógenos en general. En otros países como es el caso de Chile se cuenta con una normativa (NCh2880.c2003), que tiene por objeto establecer la clasificación y exigencias de la calidad de un compost producido a partir de diferentes residuos de origen orgánico y de otros materiales orgánicos generados por la actividad humana. De acuerdo al nivel de calidad el compost se clasifica en: (INN, 2003, p. 2)

Compost Clase A: producto con un elevado nivel de calidad que cumple con los requerimientos establecidos en la norma, este producto no muestra restricciones de uso, debido a que ha sido sometido a un proceso de humificación total. Para su aplicación se lo hace de forma directa sin ser mezclado. (INN, 2003, p. 7)

Compost Clase B: producto con un nivel intermedio de calidad que cumple con los requerimientos de la norma, este compost presenta algunas limitaciones de uso. Al momento de la aplicación debe ser mezclado con otros elementos propicios a nutrimentos para compensar la enmienda agrícola. (INN, 2003, p. 8)

Compost Inmaduro: es toda materia orgánica que ha sufrido cambios en las etapas mesoflica y termoflica durante el proceso de compostaje, donde se ha dado descomposición inicial sin alcanzar las etapas de enfriamiento y maduración indispensables para obtener un producto clase A o clase B, este compost tiene deficiencias de Nitrógeno por lo que es necesario ser mezclado. (INN, 2003, p. 8).

Tabla 5-1 Características representativas de los Compost Municipales establecida para la materia prima.

Parámetros	Rangos	Recomendado para las aplicaciones y condiciones de medio campo
Conductividad	1 - 10 dS/m	5 dS/m
pH	5.0 - 8.5	6 - 8.5
Contenido de nutrientes (base peso seco)	N 0.5 – 2.5 %	N 1% o por encima
	P 0.2 – 2.0 %	P 1% o por encima
	K 0.3 – 1.5%	
Capacidad de retención de agua	75 – 200%	100% o por encima
Densidad	700 – 1 200 lbs/yd ³	800 – 1 000 lbs/yd ³
Humedad	30 – 60 %	40 – 50 %
Contenido de materia orgánica	30 – 70 %	50 – 60 %
Tamaño de partícula	-	Cribado a través de una malla con diámetro de 2cm
Elementos traza / metales pesados	-	Cumplir con las regulaciones US EPA Parte 503

Fuente: Agencia de Protección Ambiental, 2001, p. 68.
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

Tabla 6-1 Límites máximos permisibles de elementos traza en materia prima para el compostaje.

Elementos Traza	Límite máximo (mg/kg) base seca
Cadmio	10
Cromo	1000
Cobre	1000
Mercurio	10
Níquel	200
Plomo	800
Zinc	3000
Cromo + Níquel + Cobre + Zinc	4000

Fuente: (INN, 2003, p. 9) Norma Chilena Oficial, 2003
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

Tabla 7-1 Límites máximos permisibles de parámetros para considerar un compost de calidad en base a la Normativa Chilena

Parámetros Físico – Químicos		
Calidad del Compost:	Clase A	Clase B
CE (mmho/cm)	≤ 5	5 – 12
pH	5 – 7,5	7,5 – 8,5
Parámetros Químicos		
% MO	≥ 45	≥ 25
C/N	10 – 25	10 – 40
Arsénico (mg/kg) (base seca)	15	40
Cadmio (mg/kg) (base seca)	2	8
Cobre (mg/kg) (base seca)	100	1000
Cromo (mg/kg) (base seca)	120	600
Mercurio (mg/kg) (base seca)	1	4
Molibdeno (mg/kg) (base seca)	2	20
Níquel (mg/kg) (base seca)	20	80
Plomo (mg/kg) (base seca)	100	300
Selenio(mg/kg) (base seca)	12	50
Zinc (mg/kg) (base seca)	200	2000

Fuente: (INN, 2003, pp. 12-14) Norma Chilena Oficial, 2003
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

Tabla 8-1 Límites máximos permisibles de parámetros para considerar un compost de calidad en base a la Norma Europea, EPA y al Criterio Ecológico

Parámetros	EPA	European Guidelines	Criterio Ecológico
MO (%)	50 – 60	>15	>20
Metales pesados (mg/kg)			
Cromo	1200	100	100
Cadmio	39	1,5	1
Plomo	300	120	100
Arsénico	41	-	10
Selenio	100	-	1,5
Níquel	420	50	50
Mercurio	17	1	1
Macroelementos			
Nitrógeno Total (%)	≥ 10	-	<30
Fósforo (g/kg)	≥ 10	-	-
Microelementos (mg/kg)			
Cobre	1500	200	100
Zinc	2800	600	300

Fuente: (Hans & Peter , 2014, p. 42) / (EPA, 2001, p. 99) / (Europa, 2006, p. 18)
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño experimental

2.1.1. *Tipo y diseño de investigación*

La investigación es de tipo experimental donde se utilizará un diseño experimental completamente al azar que se resuelve con ANOVA de 1 factor. Por lo que establece que la investigación es experimental, su objetivo principal es determinar la calidad del compost obtenido mediante la determinación de técnicas de análisis experimental, estableciendo el efecto del porcentaje de poda sobre la calidad del abono en función de la materia prima y el sistema de compostaje a utilizar.

Se va a elaborar 3 biopilas de compostaje implementando el método windrow, con dimensiones de tres metros de base por dos metros de altura y dos metros de separación entre sí, considerando dos tipos de mezclas de residuos a compostar. Se controlará continuamente la temperatura en las pilas y la temperatura ambiental, así como el pH y el porcentaje de humedad.

Al culminar el compostaje y una vez obtenido el abono orgánico se valorizará la calidad en base a sus características físico-químicas, químicas y biológicas, con el fin de evaluar su potencial uso como enmienda de suelo.

2.1.2. *Población de estudio*

Relleno sanitario de Porlón

2.1.3. *Tamaño de muestra*

No se calcula el tamaño de la muestra, debido a que se trabajará con todas las muestras recolectadas durante el desarrollo del experimento, previa la caracterización de los residuos sólidos urbanos tomando 4 muestras al inicio del proceso, 5 muestras por unidad experimental, con un total de 40 muestras durante el compostaje. Todas las muestras serán tomadas por triplicado para el respectivo análisis de laboratorio.

Selección de muestra

Se implementará la técnica del cuarteo tomando 7 sub-muestras de diferentes partes de las unidades experimentales, para al final tomar una sola muestra representativa de aproximadamente 500g para su posterior análisis en el laboratorio.

2.2. Metodología

2.2.1. Datos de Localización

Tabla 1-2 Localización del trabajo experimental

Proyecto: Efecto del porcentaje de poda sobre el proceso de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) del relleno sanitario de Porlón.	
Provincia: Chimborazo	
Ciudad: Riobamba	
Parroquia: Cubijés	
Sector: San Jerónimo de Porlón	
Altura: 2720.15 msnm	
Coordenadas, WS84:	
Este	Norte
767.652,641	9°8'15.770,827



Fotografía 1-2 Ubicación geográfica del proyecto de compostaje
 Fuente: Google Earth
 Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.2.2. Datos de Administración

Tabla 2-2 Identificación del personal

Personal que labora en el Relleno Sanitario		
Personal Técnico		1
Personal Operativo	Maquinaria pesada	5
	Lixiviados	1
Jardineros		3
Guardias		4
Total		14

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.2.3. Funcionamiento

Tabla 3-2 Datos de funcionamiento

Descripción	Horario de Trabajo		
	Mañana	Tarde	Total
Técnico	7:00 a 13:00	14: 30 a 16:30	8
Operativo	7:00 a 13:00	14:00 a 17:00	9

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.2.4. Infraestructura

Tabla 4-2 Datos de infraestructura

Infraestructura del Relleno Sanitario	
Área total del relleno	15 [Ha]
Área de la celda emergente	4.5 [Ha]
Área de desechos hospitalarios	264 m ²
Área de depósito de neumáticos	200 m ²
Área del cierre técnico	2,5 [Ha]
Área de compostaje	100 m ²
Área de oficina, báscula, baño	150 m ²

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.2.5. Consumo de Agua

Tabla 5-2 Datos de abastecimiento de agua

Fuente	Volumen (m ³ / día)
Red Municipal	-
Tanquero	15 m ³ / día
Pozo	-
Otras Fuentes	-
Total	15 m ³ / día

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.2.6. Uso

Tabla 6-2 Datos para uso de agua

Actividad	Volumen (m ³ / día)
Proceso de lavado y riego	1,5

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.2.7. *Abastecimiento y consumo de energía eléctrica*

Tabla 7-2 Datos de abastecimiento y consumo de energía eléctrica

Fuente de energía	Cantidad (Kw/h)	
	Mensual	Anual
Red pública	170	2040
Planta propia	-	-
Eólica, solar	-	-
Otra	-	-
Total	170	2040

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.3. **Medio físico**

2.3.1. *Hidrología*

El relleno sanitario limita al sur con el río Chambo único recurso hídrico que se encuentra directamente relacionado.

2.3.2. *Meteorología*

Temperatura

Debido a las condiciones geográficas en la parroquia de Cubijíes sector San Gerónimo de Porlón donde se localiza el relleno sanitario, se generan rangos de temperatura media anual de 15 °C.

Precipitación

En la zona de estudio existen precipitaciones media anual de 589 mm.

2.3.3. *Aguas subterráneas*

Por motivo de que la zona es árida con bajas precipitaciones en el año no se presentan fuentes de aguas naturales.

2.3.4. *Geología*

Basada en la geología de la región está compuesta por conglomerados volcánicos, donde los fragmentos de roca redondeados y sub-redondeados son principalmente de andesitas.

2.4. Uso de suelo

El suelo de la parroquia Cubijíes especialmente en el sector de San Gerónimo de Porlón se encuentra utilizado en gran parte por la actividad agrícola puesto que por las condiciones de los suelos no permiten que exista grandes extensiones de pasto ni tampoco extensos terrenos que cuenten con condiciones óptimas para el cuidado de ganado bovino y ya que la unidad mínima de producción de los agricultores es menor a 1 hectárea, y la gran mayoría se dedica a cría de especies menores.

2.5. Servicios Básicos

En la actualidad la comunidad de San Gerónimo de Porlón donde se encuentra ubicado el relleno sanitario no cuenta con servicios de agua potable su abastecimiento se da por agua entubada proveniente de vertientes misma que es clorada y repartida mediante bombeo, únicamente cuentan con el servicio de alumbrado y luz eléctrica.

2.6. Aspectos ambientales

Las condiciones ambientales en el área del proyecto se presentan establecidas por las siguientes causas:

- Disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos.
- Presencia de vectores en el sitio de disposición del residuo como en la base del proyecto.
- Disposición inadecuada de las aguas y residuos provenientes del lavado de los vehículos recolectores de carga lateral del residuo.
- Erosión del suelo
- Presencia de recicladores que trabajan en condiciones inadecuadas expuestos a contraer enfermedades.

Los efectos sectoriales de la contaminación del aire, se evidencia en afecciones a la salud humana, provocando irritación de los ojos, dificultades respiratorias.

La presencia de vectores constituye un riesgo para la salud del personal operativo, técnico y de los recicladores, pues podrían ser portadores de enfermedades infectocontagiosas.

2.7. Medio Biótico

2.7.1. Flora

Se registró 7 familias, siendo una de ellas la más representativa (*Poaceae*), con dos especies, y el resto de familias con una especie cada una.

Tabla 8-2 Lista de flora determinada en el área de estudio

Familia	Nombre Científico	Nombre Local	Abundancia
Poaceae	<i>Stipa ichu</i>	Paja	Común
Poaceae	<i>Cortaderia rudiusscula</i>	Sigse	Abundante
Asteraceae	<i>Baccharis sp</i>	Chilca	Común
Agavaceae	<i>Agava americana</i>	Cabuyo	Común
Cupresaceae	<i>Cupressus sp.</i>	Ciprés	Común
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Común
Fabaceae	<i>Spartium junceum</i>	Retama	Escaso
Pinaceas	<i>Pinus radiata</i>	Pino	Común

Realizado por: Byron Ruiz Y Marco Tixe, 2018
Fuente: CONSULTORACAV CÍA. LTD



Fotografía 2-2 Flora determinada en el área del predio

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.7.1.1. Uso de recursos

La flora de la localidad presenta variedad de usos tales como; forraje, medicinal, mitológico, maderable, ornamental y de conservación.



Fotografía 3-2 Uso de recursos en el sector

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.7.1.2. Especies en zonas aledañas

La vegetación nativa de la zona de estudio ha sido destruida en su mayoría, se ha introducido especies como eucalipto y especies herbáceas sobresalen los *sigsales* y *chamana*.



Fotografía 4-2 Flora del sector

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.7.2. Fauna

2.7.2.1. Masto-fauna

Dentro del área de influencia indirecta, se observó cabras, cerdos, bovinos, ovinos y aves de corral y canes. En el predio de la celda emergente se observaron la presencia de canes distribuidos en manadas.



Fotografía 5-2 Fauna del sector
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

2.7.2.2. *Uso de recursos*

Las especies en moción sirven como alimento de carne y leche para los habitantes aledaños al área de estudio, como en ocasiones para el comercio de los mismos.

2.7.3. *Aves*

Debido al grado de intervención antrópica en el sector y a la contaminación ambiental producida por los gases de combustión de los desechos sólidos no existe avifauna que se pueda observar en el predio. Se observó las siguientes especies que se presentan en la tabla 9-2.

Tabla 9-2 Lista de fauna determinada en el área de estudio

Familia	Nombre Científico	Nombre Local	Abundancia.
Cathartidae	<i>Cragyps atratus</i>	Gallinazo negro	Escaso
Columbidae	<i>Zanaida auriculata</i>	Tórtola	Común
Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	Mirlo Abundante	Abundante

Realizado por: Byron Ruiz Y Marco Tixe, 2018
Fuente: CONSULTORACAV CÍA. LTDA

2.7.4. *Paisaje*

2.7.4.1. *Componente paisajístico*

Se presenta componentes paisajísticos abióticos, bióticos y antrópicos, haciendo referencia a sus características visuales que determinan la calidad del mismo. Desde el área de estudio hacia el exterior se evidencian especies vegetales, pastos naturales y sembríos.



Fotografía 6-2 Paisaje aledaño al proyecto
Realizado por: Byron Ruiz Y Marco Tixe, 2018

2.8. Descripción de la Gestión integral del residuo

2.8.1. Disposición del residuo sólido

La operación del relleno sanitario se inició en el año 2016, y se proyecta una vida útil de 4 años, hasta el año 2020, se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia de Cubijíes, comunidad San Jerónimo de Porlón, área total del predio 15 Ha.

La celda de confinamiento de residuos sólidos, tiene un área total de 4,5 Ha, actualmente se la utiliza en su totalidad, se encuentra impermeabilizada con geomembrana de 1 mm de espesor, y se presenta drenajes (Tipo espina de pescado) en el fondo de la plataforma para la reconexión de lixiviados, presenta interconexiones con las chimeneas para la extracción pasiva y quema de biogás.

2.8.1.1. Sitios de obtención del material de cobertura

El material de cobertura es extraído del mismo predio como de desalojos de minas circundantes al relleno, mediante una cargadora y transportado con una volqueta de 8 m³ de capacidad hacia el respectivo frente de trabajo (celda diaria operativa).

2.8.1.2. Contracciones auxiliares

Garita: Consiste en una caseta de guardianía que opera los 365 días del año, dispone de batería sanitaria, señalización y extintor PQS de 10 Lb.

2.8.2. Descripción del proyecto piloto de compostaje

El proyecto consiste en establecer tres unidades experimentales (biopilas) conformadas por residuos sólidos urbanos de origen orgánico que ingresan al relleno sanitario, se ha determinado por ellos la investigación como plan piloto para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos que son compactados sin tratamiento final, por tal motivo, la obtención de un abono orgánico es esencial para minimizar el uso de recursos e impactos ambientales.

2.9. Generación y recolección por fases del residuo.

2.9.1. Generación del residuo sólido.

El relleno sanitario a cargo del GADM, acoge todos los residuos urbanos de los cantones de Riobamba, Chambo y Penipe, donde ingresan 183,741 Ton/día promedio, son registrados de acuerdo a su tipo y origen del cual son procedentes.

Tabla 10-2 Cantidad de residuo y su producción per-cápita

Cantón	Población	Ton/día	Kg/hab/día
Riobamba	225.741	177,39	0,79
Chambo	11.885	4,26	0,36
Penipe	6.739	1,74	0,26
Total	287.216	183,741	0,64

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018
Fuente: Ecuador en cifras.

Tabla 11-2 Generación diaria de residuos sólidos

Tipo de residuo	Ton/día
Orgánicos	114,9
Inorgánicos	68,8
Total	183,7

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018
Fuente: Dirección de gestión ambiental salubridad e higiene

Tabla 12-2 Procedencia del residuo orgánico

Fuente	Ton/día	(%)
Domiciliaria	102,6	55,85
Mercados	12,3	6,7
Total	114,9	62,55

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018
Fuente: Dirección de gestión ambiental salubridad e higiene

2.9.2. Disposición de desechos hospitalarios

El GADMR en conjunto con la Dirección de Gestión Salubridad e Higiene brinda el servicio de recolección, transporte y disposición final de los desechos de origen hospitalario, la disposición final se da en una celda de hormigón armado que cuenta con techo para evitar el ingreso de lluvia.

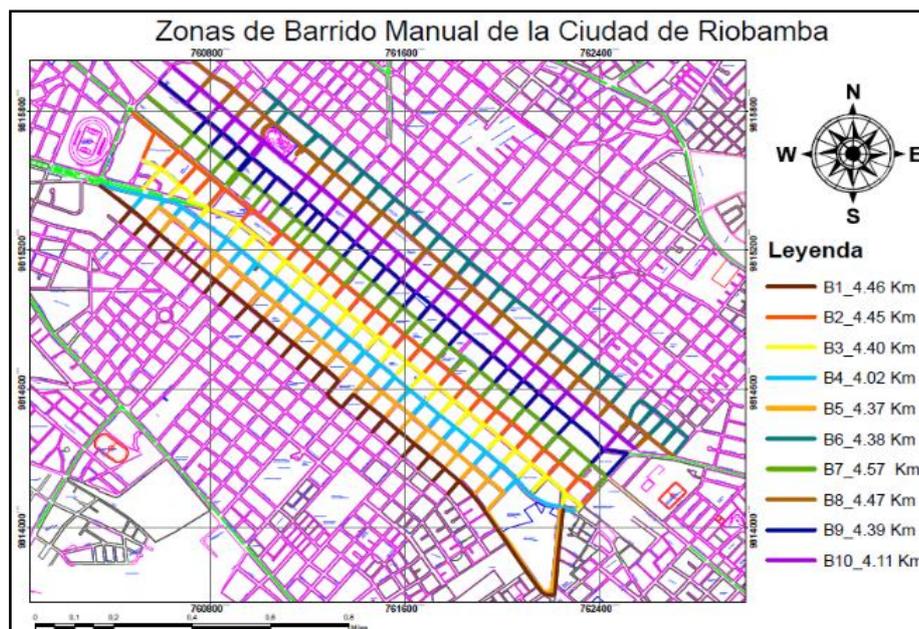
Se implementa la recolección diferenciada, son recolectados por el personal encargado del municipio y transportados en un camión cerrado.

En la celda se depositan desechos sanitarios infecciosos, especiales y corto-punzantes provenientes de Hospitales Públicos y Privados, Centros y Subcentros de Salud, Laboratorios Clínicos, Centros Odontológicos y Centros Veterinarios, estimando un total de 86 centros médicos que entregan los desechos para su disposición final.

2.9.3. Recolección del residuo sólido

El trabajo de recolección se da a diario mediante dos tipos de sistemas, el primero denominado sistema manual, que se encarga un grupo de trabajadores que son distribuidos en 10 zonas, cubre una extensión de 43,62 Km de recolección de residuo de la ciudad.

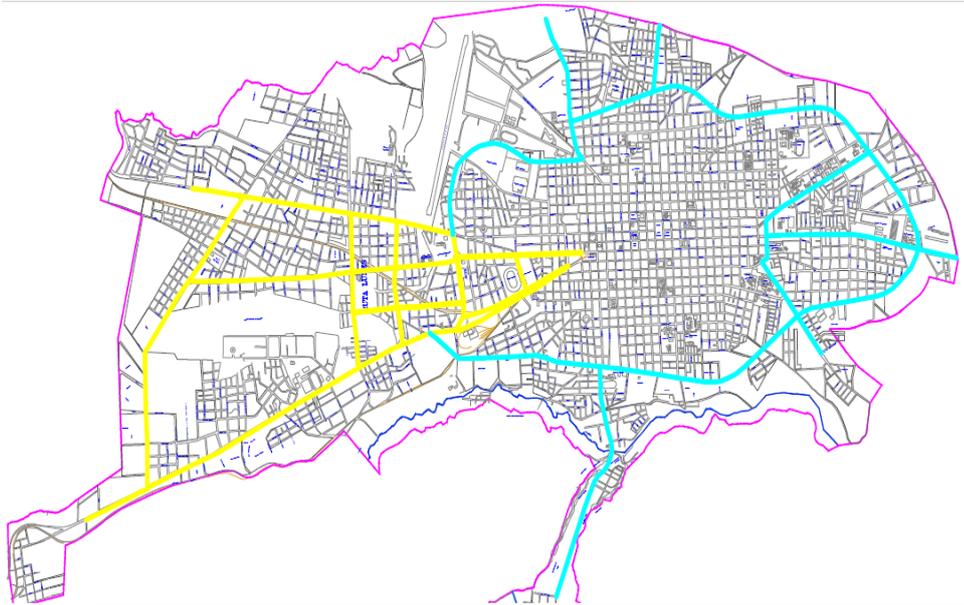
Mapa de barrido manual:



Fuente: Dirección de gestión ambiental salubridad e higiene

El sistema de recolección de residuo está definido de manera mecánica cuya labor abarca las avenidas que se encuentran de manera circundante y dentro de la ciudad.

Mapa de barrido mecánico:



Fuente: Dirección de gestión ambiental salubridad e higiene de Riobamba

2.10. Proceso de caracterización de residuos sólidos.

El muestreo se realizó durante dos meses consecutivos iniciando el día miércoles 13 de septiembre al 19 de noviembre del 2017, el trabajo se llevó a cabo entre dos personas en el relleno sanitario de Porlón dentro del sitio designado.



Fotografía 7-2 Área de caracterización
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

El procedimiento de caracterización se realizó durante dos meses en el relleno sanitario de Porlón, se estableció un horario el cual iniciaba a las 8:00 am y culminaba a las 14:00 pm, el proceso se llevó a cabo en un área designada de 20 m² de la celda emergente, lugar donde es compactado el residuo. Para el trabajo de caracterización semanalmente se estableció un vehículo recolector de una ruta designada a la ciudad de Riobamba, culminando la etapa con recolectores de los cantones aledaños que realizan el depósito del residuo en el relleno sanitario.

En el desarrollo de la caracterización se determinó una muestra representativa de las 15 Ton aproximadas de residuos que cada recolector almacena tanto de carga lateral como posterior, para ello se aplicó la norma técnica NTRS-3-Muestre-Metodo del Cuarteo, establecida para residuos sólidos municipales que proporciona especímenes para análisis físico In-situ, la cual se puede visualizar en la fotografía 8-2.



Fotografía 8-2 Método del cuarteo
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Los residuos sólidos son mezclados con palas hasta haber logrado una mezcla completa, esto con el objeto de alcanzar una mayor homogeneidad y uniformidad del material. Enseguida se practica un cuarteo a la muestra total, como se indica en la norma NT-RS-3, es decir, se divide en cuatro partes proporcionales, de donde se toma una o varias de ellas según sean necesarias, y se introducen en un recipiente previamente dispuesto hasta completar su volumen o alcanzar el nivel de su superficie libre. Hecho esto, se coloca en la balanza y se determina su peso, que al relacionarlo con el volumen nos da el peso volumétrico buscado y establecido en la norma NT-RS-4 PESO VOLUMETRICO "IN-SITU" (Lameda, 2015, p. 11).



Fotografía 9-2 Muestras representativas de residuo
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

2.11. Caracterización de residuos sólidos urbanos

Tabla 13-2 Caracterización del residuo sólido

Fecha	Materia Orgánica (kg)	Plástico (kg)	Papel (kg)	Cartón (kg)	Tela (kg)	Vidrio (kg)	Metal (kg)	PET (kg)
11/09/2017	167,5	33,2	24,8	23	4,3	13,2	8,2	20,2
12/09/2017	184,6	32,7	30,6	20,5	5,2	16,4	0	24,2
13/09/2017	104,3	24,4	28,2	22,3	3,2	10,2	0	17,4
14/09/2017	202,7	35	37,7	33,5	4,7	11,3	8,4	11,3
15/09/2017	125	76,2	33,2	35	3,1	14,4	6,7	21,5
18/09/2017	120,7	74,1	26,8	26,3	15,9	17,4	7,8	26,1
19/09/2017	119,5	72,5	34,3	30,2	11,1	14,2	0	24,4
20/09/2017	162	40,3	36,1	28,3	9,9	10,6	2,9	9,2
21/09/2017	176,3	76,1	23,3	10,7	5,8	11,4	4,7	28,3
22/09/2017	119,3	43,8	25,5	34,1	3,9	11,8	0	11,3
25/09/2017	101,9	47,4	19,9	5,9	7,4	13,9	0	17,4
26/09/2017	198,4	48,5	20,1	7,5	16,5	14,2	7,2	20,3
27/09/2017	139,4	43,6	21	11,7	14,8	10,5	0	15,4
28/09/2017	146,9	42,3	42,9	18,7	8,6	15,1	8,5	27,6
29/09/2017	114,4	75,5	41,6	17,4	14,5	20,6	3,9	21,7

02/10/2017	194,9	44,2	45,5	31,5	19,6	16,6	6,6	25,7
03/10/2017	189,5	63	31,3	8,5	20,8	17,4	10,8	11,6
04/10/2017	186,4	50,9	30,7	35,2	17,7	15,6	10,1	11
05/10/2017	132,8	44,6	37,2	8,2	18	17,6	5,9	20,7
06/10/2017	117,5	62,9	29,9	12,4	11,9	11,6	2,5	28,7
09/10/2017	175,4	60,2	43,8	15,1	16,2	17	8,1	10,4
10/10/2017	168	75,3	34,3	21,3	18,1	15,4	10,1	8,5
11/10/2017	194,1	34,6	33,4	23,6	12,5	14,8	2,1	17,9
12/10/2017	125,7	35,3	25,9	26,4	12	17,1	8,5	27,9
13/10/2017	128,7	58,6	34,2	31,4	9,8	13,3	3,4	10,6
16/10/2017	132,4	34,2	44,5	31,1	10,1	15,4	4,7	13,6
17/10/2017	172,4	72,2	43,3	13,4	3	14,9	3,6	8,2
18/10/2017	197,8	35,8	39	34,4	13,2	13,2	9,1	23,7
19/10/2017	147,3	73,3	23,1	16,2	18,7	11,9	8,4	12,2
20/10/2017	193,2	57,9	33,8	30,6	14,8	16,8	1,9	24,6
23/10/2017	195,8	63,5	24,5	29,9	17,1	12,1	0	28,6
24/10/2017	135,5	63,1	30,7	27,8	18,9	10,8	0	22,5
25/10/2017	155,6	53,1	31,2	11	19,3	13,2	4,4	27,1

26/10/2017	199,7	37,7	26,7	13,5	14,1	18,5	9	24,6
27/10/2017	103,7	60,1	36,6	32,1	16,8	11,6	4,4	15,3
30/10/2017	132,1	39,4	31,9	27,8	18,9	11,7	6,1	25,4
31/10/2017	187,3	45,8	32,3	21	9,2	13,6	5,5	13,7
01/11/2017	154	46,8	35,2	20,1	13,3	13	2,3	10,8
02/11/2017	170	65,7	48,1	37,9	19,1	17,6	8,3	26,7
03/11/2017	130,4	65	25,3	36,5	13,5	19,7	1,4	18,8
06/11/2017	126,5	36,9	38,8	31,8	5,6	19,7	8,9	29,5
07/11/2017	198,3	42,6	27,8	29,8	7,9	20	9,6	12,6
08/11/2017	157,2	71,9	31,4	29,7	18,8	12,3	3	16,4
09/11/2017	160	42,5	49,2	40,1	9,3	17,9	0	25,6
10/11/2017	173,1	61,3	24,7	35,5	15,1	13,2	0	15,3
13/11/2017	149,8	57,2	47	23,7	15,1	16,3	7,1	22,2
14/11/2017	145,5	76,7	46,3	16,5	18,9	18,6	4	7,5
15/11/2017	181,7	66,4	47	39,3	16,9	16,8	8,5	15,7
16/11/2017	124,9	58,8	42	21,5	9,6	13,3	1,6	29,5
17/11/2017	101,3	68,4	33,1	10,3	3,8	14,8	0	22,1
20/11/2017	170,2	46,4	33,9	15,9	16,1	10,2	0	25

21/11/2017	188,5	35,1	32,6	32,5	8,2	11,7	0	24,6
22/11/2017	119,4	52,2	43,2	23	5,5	16,4	3,4	29,2
23/11/2017	146,3	74,8	28,5	37,9	17,9	18,5	3,4	16,2
24/11/2017	129,9	71	43,3	26,6	6,6	21	9,4	20,3
27/11/2017	123,7	51,7	44	24,1	15,7	17,6	9,8	24,9
28/11/2017	179,5	69,1	47	26,6	14,6	18,3	0	29,4
29/11/2017	153,6	57,6	33,9	15,8	18,8	16,1	0	26,9
01/12/2017	197,9	43,9	48,9	25	13,4	12,6	7,1	12,3
04/12/2017	117,7	48	42,4	25,3	6,2	14,4	8,1	9,4
05/12/2017	118,2	73,3	23,7	10,9	12,4	13,8	8	8,1
06/12/2017	110,5	47,9	26,8	17,7	10	10,6	9,9	18
07/12/2017	128,6	74	48,5	16,2	15,8	16,3	0	27
08/12/2017	154,2	40,2	31,1	11,6	4,8	15,3	0	27,4
11/12/2017	149,7	42,5	39,4	11,1	5,7	13,5	0	23,3
12/12/2017	188,4	67,2	26,6	38,5	13,6	13,2	0	7
13/12/2017	169,3	50,1	35,8	14,2	18,9	19,9	9,7	16,7
14/12/2017	157	50,2	44,1	21,1	3,5	15,9	0	29,3
15/12/2017	153,2	32,3	27,5	29,2	20,3	18,8	7,9	8,2

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Tabla 14-2 Resultados del proceso de caracterización

Residuo	Materia Orgánica	Plástico	Papel	Cartón	Tela	Vidrio	Metal	Pet
Total, Kg/día	10693,2	3787,8	2418,5	1661,1	860,2	1041,8	314,9	1345,4
Total, Ton/día	10,69	3,79	2,42	1,66	0,86	1,04	0,31	1,35
%	5,82	2,06	1,32	0,9	0,47	0,57	0,17	0,73

Pet: Tereftalato de polietileno.

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Tabla 15-2 Resultados porcentuales de residuo que ingresa al relleno sanitario

Residuo	Materia Orgánica	Plástico	Papel	Cartón	Tela	Vidrio	Metal	Pet	Otros
Ton/día	114,9	18,57	8,19	8,16	4,23	5,11	1,54	6,59	16,4
%	62,55	10,11	4,46	4,44	2,3	2,78	0,84	3,59	8,93

Pet: Tereftalato de polietileno. Mat: materia

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

2.12. Diseño experimental del compost

El experimento se basó en la elaboración de tres unidades experimentales de compostaje usando la FORSU de los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario y poda proveniente de las actividades de mantenimiento de parques y jardines.

Los residuos de poda fueron recogidos desde el centro de acopio localizado en el parque temático ambiental Ricpamba, la poda contiene hojas y ramas de arbustos tales como; Fresno, Aliso, Sauco, Álamo Blanco, Calistemo blanco y Lupina. Los residuos fueron triturados hasta obtener un tamaño de partícula ≤ 5 cm (figura 12-2, 13-2), la FORSU fue triturada de manera manual y la poda de forma mecánica por medio del Chipeador Triturador TRAPP 4".



Fotografía 10-2 Triturado de la fracción orgánica
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.



Fotografía 11-2 Triturado de poda
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Las mezclas para el compostaje fueron establecidas con las siguientes proporciones en peso fresco de materia:

Pila 1 (P1): 90% FORSU + 10% PODA, C/N 27,72

Pila 2 (P2): 80% FORSU + 20% PODA, C/N 30,78

Pila 3 (P3): 100% FORSU, C/N 24,64

Construcción de la cubierta para el proceso de compostaje

La cubierta para el proceso de compostaje se realizó a partir del dimensionamiento de las pilas de compost, se estableció un área de 100 m² de construcción con la finalidad de asegurar que condiciones climáticas y factores externos influenciarán a las fases de degradación de la materia orgánica variando el tiempo de maduración del compost. La construcción de la cubierta se realizó en la zona determinada para la obtención de abonos orgánicos en el relleno sanitario de Porlón.

Materiales

- Pingos de madera
- Plástico de invernadero
- Clavos
- Martillo
- Escalera
- Piolas
- Saca bocados
- Pala
- Carretilla



Fotografía 12-2 Cubierta para el desarrollo del compostaje
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Análisis preliminar de la muestra para las unidades experimentales de compost

Se realizaron análisis físico-químicos de la muestra representativa del material de partida como del FORSU y poda para la elaboración de las pilas de compost. En la tabla 16-2 se detalla el parámetro, la unidad y el método realizado.

Tabla 16-2 Parámetros físico-químicos, químicos y biológicos iniciales

Análisis iniciales del material de partida FORSU y Poda		
Parámetros	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Conductividad eléctrica	dS/m	APHA
Materia orgánica	%	Walkley y Black
Humedad	%	EPA Secado a 105°C
Nitrógeno total	%	Kjeldhal
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	Cálculo
Metales: Cr, Cd, Pb, As, Se, Ni, Cu, Zn y Hg.	mg/ kg	EPA 1311/EPA 200.7 ICP
Macro y Micro Nutrientes: Na, P, Ca, Mg, K, Mn, Fe	mg/ kg	EPA 1311/EPA 200.7 ICP
Aniones: (SO ₄) ²⁻ , (PO ₄) ³⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	mg/L	Método estándar
Índice de germinación	Número de semillas germinadas	-----

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

El proceso de compostaje se realizó en el relleno sanitario de Porlón, las tres unidades experimentales en peso seco de 200 kg tuvieron una codificación de P1, P2 y P3, diferenciándose mediante la composición en porcentajes entre sí, aquellas tienen dimensiones de 3 x 2 x 2 (largo x ancho x alto), con una separación entre ellas de 2 metros.



Fotografía 13-2 Pilas de Compostaje
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

La temperatura, humedad y el pH se midieron a diario, se controlaron con volteos periódicos y adición de agua verificando que la humedad de las pilas se mantuviera en un rango de 40-60 %, se establecieron 7 volteos en las tres pilas durante todo el proceso el cual duró 151 días, los volteos se realizaron de manera mecánica a través de una mini cargadora y de forma manual.



Fotografía 14-2 Volteo mecánico de las pilas
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Análisis del proceso de las pilas de compostaje

Se realizaron análisis físico-químicos, químicos y biológicos de las muestras representativas de los volteos realizados durante el proceso. En la tabla 17-2 se especifica la metodología implementada y parámetro analizado.

Tabla 17-2 Parámetros físico-químicos, químicos y biológicos del proceso de compostaje

Análisis del proceso de compostaje		
Parámetro	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Conductividad Eléctrica	dS/m	APHA
Materia Orgánica	%	Walkley y Black
Nitrógeno total	%	Kjeldhal
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	Cálculo
Índice de germinación	Número de semillas germinadas	-----

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

Al finalizar la etapa oxidativa se dio inicio a la maduración del compost, se formaron camas con dimensiones de 2 x 2 x 1 (largo x ancho x alto), y una separación de 4 metros entre sí con cada unidad experimental



Fotografía 15-2 Etapa de maduración
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

En la etapa de maduración, la humedad fue controlada con mayor cuidado, se realizaron riegos mediante aspersión de 2 a 3 veces por semana verificando que el porcentaje de humedad se mantuviera entre 40 y 60 %.



Fotografía 16-2 Riego etapa de maduración
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Luego de haber transcurrido 60 días tiempo aproximado que dura la etapa de maduración, el proceso de obtención del compost ha culminado, finalmente es puesto en costales y trasladado al centro de acopio ubicado en la ESPOCH, para realizar el cribado con una malla de 2 cm según la norma europea, para finalmente ser ensacados y codificados de acuerdo a su tratamiento.



Fotografía 17-2 Cribado del compost
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.



Fotografía 18-2 Codificación y empaquetado
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

Análisis finales de las pilas de compost

Se realizaron análisis físico-químicos, químicos y biológicos de la muestra representativa de cada unidad experimental de compost. En la tabla 18-2 se especifica la metodología implementada y parámetro analizado.

Tabla 18-2 Parámetros físico-químicos, químicos y bilógicos analizados al final del compostaje

Análisis Finales		
Parámetro	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Conductividad eléctrica	dS/m	APHA
Materia Orgánica	%	Walkley y Black
Nitrógeno	%	Kjeldhal
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	Cálculo
Metales: Cr, Cd, Pb, As, Se, Ni, Cu, Zn y Hg.	mg/ kg	EPA 1311/EPA 200.7 ICP
Macro y Micro Nutrientes: Na, P, Ca, Mg, K, Mn, Fe	mg/ kg	EPA 1311/EPA 200.7 ICP
Aniones: (SO ₄) ²⁻ , (PO ₄) ³⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	mg/L	Método estándar
Índice de germinación	Número de semilla germinadas	-----

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe

A continuación, se detallan las técnicas implementadas para los parámetros: pH, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico total, aniones (Nitratos, Sulfatos, Fosfatos y Cloruros) e índice de germinación, en los análisis iniciales, intermedios y finales del compostaje.

Determinación de humedad

Materiales

- Bandejas de aluminio
- Rotulador
- Esfero gráfico
- Libreta de apuntes

Equipos

- Balanza electrónica
- Estufa de aire forzado

Procedimiento

- Se colocó las muestras representativas de residuo orgánico y poda, estableciendo un peso aproximado de 1500 g en las bandejas de aluminio plenamente codificadas.
- Se llevó a la estufa de aire forzado a una temperatura de 70 °C, se fijaron tiempos de control en un rango de 2 horas por los 2 primeros días, en el tercer día se estableció un periodo de control de 4 horas debido a que el peso en seco de las muestra empezó a tener mínimas variaciones.
- Se finalizó el proceso de determinación de humedad en el día 4, encontrando una estabilización del peso en cada muestra.

Cálculo

La determinación del % de humedad se establece de acuerdo a la fórmula siguiente:

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

Dónde:

%H: porcentaje de humedad

P_i: muestra inicial de muestra húmeda en gramos

P_f: muestra final de la muestra seca en gramos

Materia Orgánica:

$$\% H = \frac{3505,4 - 1410}{3505,4} \times 100$$

$$\% H = 59,78$$

Poda:

$$\% H = \frac{1216,1 - 930}{1216,1} \times 100$$

$$\% H = 23,5$$

Determinación de pH

Materiales

- Tubos falcón de 50 ml
- Probeta de 50 ml
- Toallas desechables
- Rotulador
- Canastilla
- Papel aluminio
- Espátula

Equipos

- Balanza analítica de tres cifras
- Agitador rotatorio
- pH-metro

Procedimiento

- Pesar 3 0 4 g de muestra en un tubo falcón.
- Añadir 30 o 40 ml de agua destilada en una proporción 1:10
- Colocar en el agitador rotatorio por 2 horas.
- Retirar del agitador, permitir la sedimentación y medir directamente en el líquido.

Determinación de la conductividad eléctrica (CE)

Materiales

- Tubos falcón de 50 ml
- Probeta de 50 ml
- Toallas desechables
- Rotulador
- Papel aluminio
- Espátula
- Papel filtro

Equipos

- Balanza analítica de tres cifras
- Agitador rotatorio
- Centrifuga
- Conductímetro

Procedimiento

- Pesar 3 g de muestra.
- Colocar cada muestra en el tubo falcón respectivo.
- Añadir 30 o 40 ml de agua destilada en una proporción 1:10
- Situar en el agitador rotatorio por 120 minutos.
- Aislar del agitador, y centrifugar por 4 minutos a 1000rpm
- Filtrar la muestra centrifugada.
- Medir la conductividad

Determinación del porcentaje de materia orgánica, método WALKLE Y BLACK

Materiales

- Matraz Erlenmeyer de 500 mL.
- Bureta de 25 mL
- Pipeta volumétrica de 10 mL
- Probeta de 50 mL
- Pera de succión

- Vasos de precipitación
- Toallas desechables
- Rotulador
- Papel aluminio
- Espátula

Equipos

- Balanza analítica de tres cifras
- Agitador rotatorio
- Volumétrico de titulación

Reactivos

- Dicromato de potasio
- Sulfato ferroso amoniacal
- Indicador ferroína
- Ácido sulfúrico concentrado
- Ácido fosfórico concentrado
- Fluoruro de sodio
- Sulfato de plata

Procedimiento

Digestión de la muestra

- Se pesa 0,05 g de muestra y se coloca en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, añadiendo 100 mL de agua destilada se cubre con papel aluminio y se codifica.
- Se coloca en el agitador rotatorio (shaker) durante media mañana a temperatura ambiente a 120 rpm.

Luego de haber culminado la etapa digestiva de la muestra, se traspasa a un matraz Erlenmeyer de 500 mL, se adiciona 10 mL de dicromato de potasio agitando por 1 minuto, posteriormente se añade 20 mL de ácido sulfúrico, se agita por un minuto y dejamos reposar por 30 minutos hasta que se haya enfriado. Posterior se coloca 0,25 g de sulfato de plata por la presencia de cloruros en la muestra y 200 mL de agua destilada, enseguida 10 mL de ácido fosfórico, 0,1 g de fluoruro de sodio, y 1 mL de indicador ferroína.

Se titula con sulfato ferroso amoniacal encontrando el volumen (mL) en el cual oxida y cambia la normalidad de la muestra. Para la valorización de la solución de sulfato ferroso se realiza una prueba en blanco con los reactivos a la mitad de la proporción anterior y sin muestra.

Cálculo

La determinación del % de materia orgánica se establece de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\% \text{ M. O.} = 10 \left(1 - \frac{M}{B} \right) \times 13.4$$

Dónde:

M = mL de sulfato ferroso consumidos en la muestra de análisis

B = mL de sulfato ferroso consumidos en el blanco

El factor 13,4 se establece de la siguiente fórmula:

$$(1.0N) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times \frac{100}{0.05} = 13.4$$

Donde:

1.0 = normalidad del dicromato de potasio

12/4000 = peso mili equivalente del carbono

1.72 = factor de transformación de carbón en materia orgánica

0.77 = factor de recuperación del 77% determinado por Walkey

0.05 = peso de muestra

Ejemplo

P1-O3

M = 7.7 mL

B = 9.6 mL

$$\% \text{ M. O.} = 10 \left(1 - \frac{7.7}{9.6} \right) \times 13.4$$

$$\% \text{ M. O.} = 26.53$$

Determinación de Carbono orgánico total

La determinación del % de carbono orgánico se establece de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Corg.} = \left(\frac{\% \text{MO}}{1.72} \right)$$

$$\% \text{ Corg.} = \left(\frac{26.53}{1.72} \right)$$

$$\% \text{ Corg.} = 15.42$$

Dónde:

%MO= porcentaje de materia orgánica

1.72 = factor de transformación de carbón en materia orgánica

Determinación de Aniones (Nitratos, Sulfatos, Fosfatos y Cloruros)

Materiales

- Matraz Erlenmeyer de 250 y 100 mL.
- Probeta de 50 mL
- Pera de succión
- Vasos de precipitación
- Toallas desechables
- Rotulador
- Papel aluminio

Equipos

- Fotómetro HA CH DR 2800
- Agitador rotatorio (shaker)
- Titulación

Procedimiento

- Pesar 0,05 gramos de muestra en un erlenmeyer de 250 mL, y añadir 100 mL de agua destilada, se sella con papel aluminio y se codifica. Colocar en el agitador rotatorio (shaker) por media mañana.
- Colocar 10 mL de la solución en el erlenmeyer de 100 mL y mezclar con el kit respectivo para nitratos (NITRAVER 5 en polvo), sulfatos (SULFAVER en polvo) y fosfatos (FOSVER 3 en polvo). Agitar por 1 minuto y dejar en reposo por 5 minutos.
- Extraer 10 mL de solución en la cubeta cuadrada hasta la marca de la misma y colocar en el fotómetro para iniciar el proceso de lectura, el resultado dictará el contenido de cada anión en mg/L.
- Para cloruros se coloca 5 gramos de K_2CrO_4 en el erlenmeyer que contiene la muestra y se procede a titular con la solución de $AgNO_3$. Finalmente se anota el volumen con el que se tituló cambiando el color de amarillo a color ladrillo.

Índice de germinación

Materiales

- Cajas Petri
- Agua destilada
- Alcohol al 50%
- Frascos margarita
- Papel filtro de 0,45 micras
- Semillas de rábano
- Papel aluminio
- Toallas desechables
- Rotulador
- Cinta masking
- Esferográfico
- Libreta de apuntes
- Canastilla
- Vasos de precipitación

- Probeta de 50 mL
- Pinza
- Kitasato
- Embudo buchner
- Espátula

Equipos

- Balanza analítica
- Pie de rey
- Incubadora
- Refrigerador
- Bomba de vacío

Procedimiento

- Pesar 10 gramos de muestra y colocar en el frasco margarita, añadir 15 mL de agua destilada agitando por 1 minuto y dejar reposar por 30 minutos, luego de haber transcurrido el tiempo de reposo, colocar 67,5 mL de agua destilada.
- Filtrar la muestra utilizando papel filtro de 0,45 micras con la bomba de vacío.
- Pipetear 2 mL de muestra y adicionar en la caja Petri que contiene 8 semillas de rábano.
- Por cada muestra se trabajó con 10 cajas Petri, adicional se preparó un blanco con el mismo procedimiento anterior, uno por cada medición.
- Envolver con papel aluminio paquetes de 5 cajas plenamente selladas con cinta masking para evitar que se sequen, de inmediato colocar en la incubadora pre calentada por 30 minutos a 27,5 °C y dejar por 48 horas.
- Una vez transcurrido el tiempo de incubación extraer las cajas y adicionar 1mL de alcohol al 50 % para inhibir el crecimiento, finalmente colocar por 10 minutos en refrigeración y medir la longitud de la raíz con el pie de rey.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Evaluación de la caracterización de RSU

Análisis porcentual previo a la extracción de la fracción orgánica

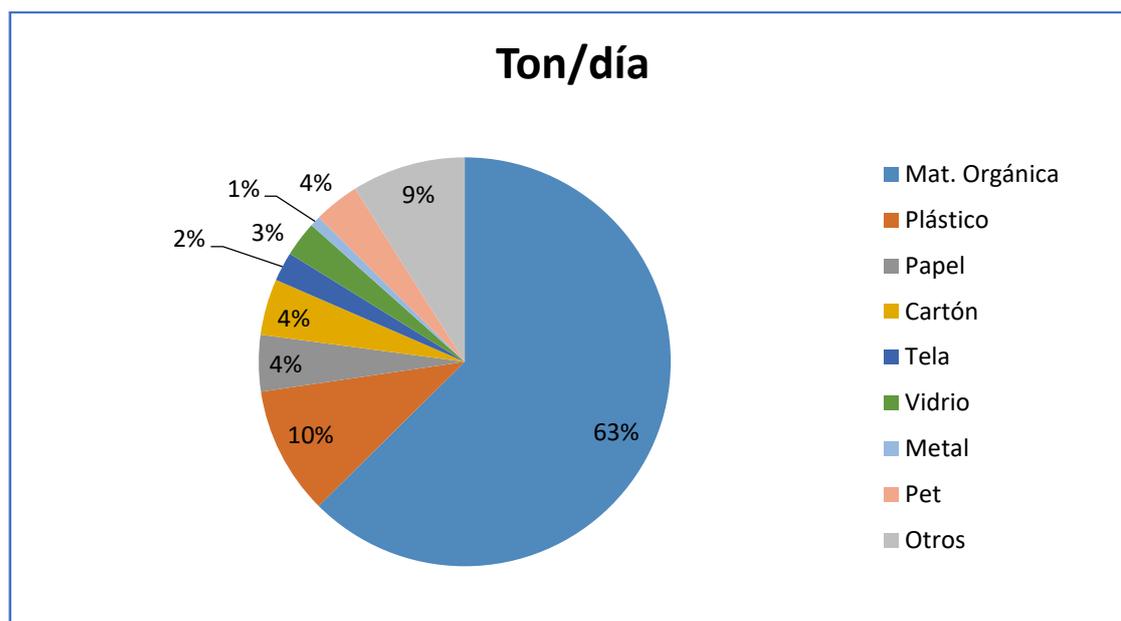


Gráfico 1-3 Caracterización de los residuos sólidos urbanos

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

En el gráfico 1-3 se diferencia el análisis porcentual estableciendo que los residuos poseen un alto valor reciclable, como un elevado aprovechamiento de composta del material biodegradable, aquello representa 114,9 Ton/día cuya producción per-cápita establece 0,5 kg/hab/día evaluándose su valor nutricional durante el proceso para la obtención de un abono orgánico.

La materia orgánica es el principal material que genera la ciudad de Riobamba, representando un alto problema de contaminación, debido a su descomposición, porque no cuenta con una planta de separación, reciclaje y tratamiento de los RSU en el relleno sanitario de Porlón (Durán, 2013).

Realizando estudios comparativos del presente trabajo con otros autores que han realizado la caracterización en el relleno sanitario de Porlón, Riobamba-Chimborazo, únicamente hay un trabajo publicado (Jara Samaniego, 2014)

Con el propósito de establecer un orden a los análisis desarrollados en el compostaje y evaluar sus resultados se implementa el esquema detallado a continuación:

3.2. Análisis de partida

Tabla 1-3: Análisis físico - químicos de los residuos de partida

Parámetros físico – químicos		
Tipo de Residuo:	RSU	PODA
pH	7,72	5,98
CE (dS/m)	4,28	1,37

CE: conductividad eléctrica

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

La Tabla 1-3 muestra los parámetros de partida cuyos valores se encuentran en rango óptimo de (6,8-8.5) para pH. Esto es debido a su contenido elevado de restos vegetales a diferencia de frutas y cítricos y (1-10) para conductividad, estos valores fueron similares en otros experimentos de compostaje con RSU (Tolagasi, 2013; Brito, et al., 2016), aquellos son característicos de materias primas para compost municipales según (EPA, 2001).

Tabla 2-3: Análisis químicos de los materiales iniciales

Parámetros	RSU	PODA
MO (%)	77,63	92,53
Carbono orgánico (%)	45,14	53,79
Nitrógeno total (%)	1,78	0,95
Corg / Nt	24,64	30,78
CIC (meq/100g)	0,8	0,61
Cloruros (mg/L)	7704,47	2363,33
Sulfatos (mg/L)	11,67	7
Nitratos (mg/L)	0,57	0,1
Fosfatos (mg/L)	7,8	5,15
Cromo (mg/kg)	<50	<50
Cadmio (mg/kg)	<0,25	<0,25
Plomo (mg/kg)	24,04	<10
Arsénico (mg/kg)	<10	<10
Selenio (mg/kg)	<0,5	<0,5
Níquel (mg/kg)	<10	<10
Mercurio (mg/kg)	<0,05	<0,05
Sodio (mg/kg)	3943,43	538,12
Fósforo (mg/kg)	3108,56	1580,58
Potasio (mg/kg)	23916,78	8313,83
Calcio (mg/kg)	8247,16	8203,18
Magnesio (mg/kg)	1796,01	1829,05
Hierro (mg/kg)	1431,27	284,28
Cobre (mg/kg)	560,29	37,27
Manganeso (mg/kg)	35,61	19,43
Zinc (mg/kg)	299,6	<50

MO: materia orgánica; Corg: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

La tabla 2-3 representa la caracterización química de los parámetros que se realizaron a los sustratos que formaron parte de las pilas, siendo el % MO, % Corg, %Nt y la relación C/N esenciales para iniciar el proceso. Según (Echeverri, 2004), el compostaje de los residuos orgánicos se produce fácilmente con una temperatura óptima, nutrientes necesarios, pH y humedad. La relación C/N estuvo dentro del rango establecido (25-35) para bioresiduos a compostar (EPA, 2001).

Las concentraciones de metales pesados en los materiales iniciales FORSU y PODA, se encuentran bajo el límite permisible de la directriz Americana y Chilena (EPA, 2001; INN, 2003). La toxicidad por metales está relacionada con las actividades industriales y con la no segregación en la fuente de la fracción orgánica. “Los metales más comunes con concentraciones elevadas son el Cobre y Zinc (necesarios como micronutrientes para las plantas), Cadmio, Plomo, Cromo, Níquel, Mercurio y Cobalto” (Echeverri, 2004).

3.3. Análisis del proceso:

3.3.1. Evolución de Temperatura en las pilas

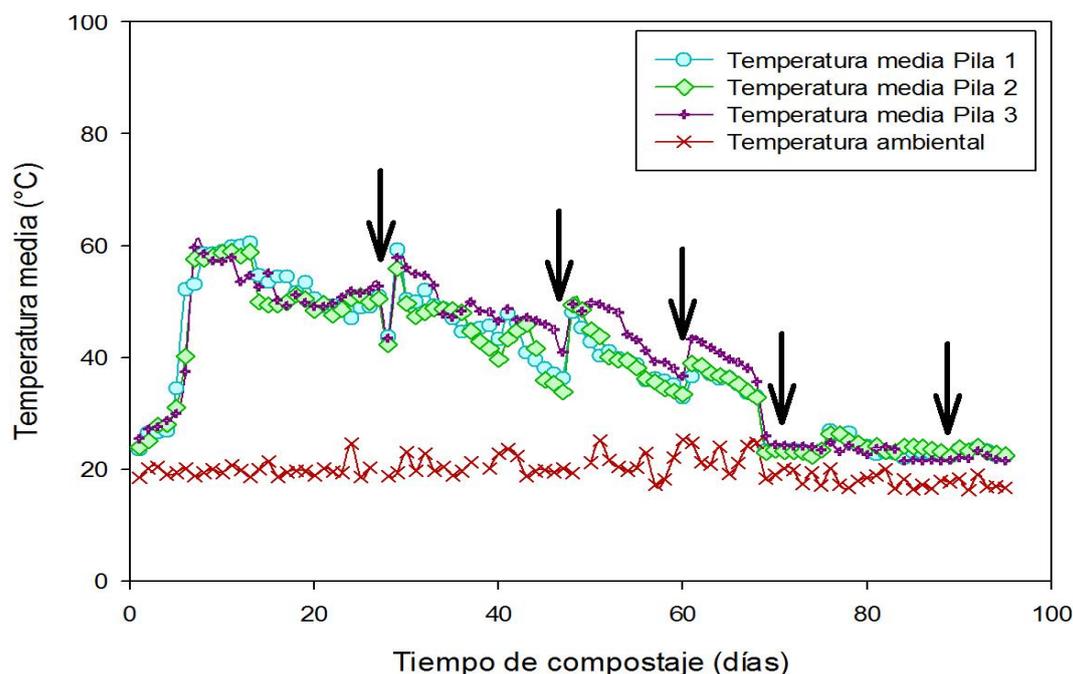


Gráfico 2-3 Cambios de temperatura en el proceso de compostaje

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

En el gráfico 2-3 se presenta un elevado aumento de temperatura vs los días del desarrollo del compost en las tres pilas. Se registró un significativo aumento una vez iniciado el proceso de compostaje debido a la proliferación microbiana, rápidamente dio inicio a la etapa termofílica en la que se establece la higienización de la materia orgánica durante los primeros 30 días. Este

evidencial incremento de temperatura también fue detallado por otros autores que desarrollaron este proceso (Gavilanes, et al., 2016; Valencia Cofre, 2016; Contardi, 2012; Gatón, 2002).

La pila 3 permaneció en periodos prolongados de temperatura llegando a alcanzar los 60 °C, mientras que las pila 1 y 2, tuvieron idénticos comportamientos de temperatura llegando a alcanzar los 57 °C.

Durante el proceso de compostaje al transcurrir 4 semanas, la temperatura disminuyó paulatinamente hasta alcanzar la fase mesófila, se realizó el primer volteo a los 28 días elevando progresivamente la temperatura cercana a la que dio inicio a la etapa termófila, a partir de ello se realizaron volteos en los días 47, 60,75 y 91. Este progresivo incremento de temperatura por volteo, se evidenció en ensayos realizados por (Castro, et al., 2016; Pérez, 2008). En las tres pilas de compost las temperaturas se mantuvieron a 55 °C durante 4 semanas garantizando la reducción de patógenos de acuerdo a los requerimientos Europeos sobre saneamiento del compost y fin de las condiciones de residuos sometidos a compostaje (Europea, 2014).

Al transcurrir las 10 semanas de compostaje la temperatura disminuyó paulatinamente hasta alcanzar la etapa mesófila, aquella se mantuvo en disminución durante 25 días más, luego de lo cual ya no existió un incremento significativo, dando así inicio a la etapa de maduración durante 8 semanas concluyendo con una temperatura cercana a la ambiente.

3.3.2. Pérdida de Materia Orgánica en las pilas

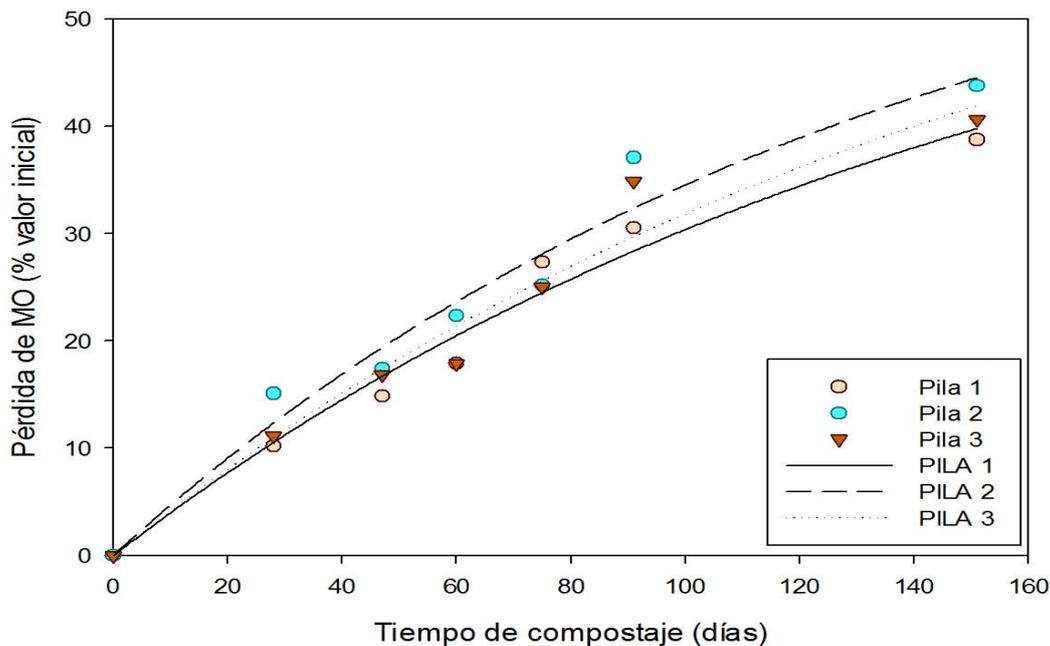


Gráfico 3-3 Degradación de materia orgánica
Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018.

En el gráfico 3-3 se representa el contenido de pérdida de MO, siendo similar al inicio en los tres ensayos lo que puede atribuirse a la inmediata degradación de la fracción orgánica de los RSU, la degradación fue paulatina durante el proceso, el porcentaje de pérdida de MO en las pilas 1, 2 y 3 fue disminuyendo en las fases del compostaje de 73%, 74,5% y 73,4%, en la fase inicial a 63%, 62,2% y 62,1% en fase final del compost representados en la tabla (4-3), lo que indica la degradabilidad de la materia orgánica.

El descenso de MO fue relevante durante la fase biooxidativa en las tres pilas (Fig.3-3), motivada a las altas temperaturas y la proliferación microbiana, lo que muestra la estabilidad lograda por los sustratos después de la fase biooxidativa. Este proceso de pérdida de MO en ensayos similares fue evidenciado por otros autores para residuos sólidos urbanos (Jarre, 2016; Márquez, et al., 2008; Tolagasi, 2013). La mineralización de la MO, se evidenció en menor porcentaje llegando a una estabilidad durante la fase de maduración representada en la Tabla 4-3.

Ecuación cinética para la pérdida de materia orgánica

$$\text{Pérdida de MO} = A (1 - e^{-kt})$$

Donde:

A= máxima degradación de materia orgánica

k= constante de velocidad

t= tiempo transcurrido (días)

A partir de la ecuación cinética del ajuste de curvas para los datos experimentales se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 3-3: Ajuste de curvas en las pilas de compostaje

Pilas	A	K	R ² adj	F	SEE	
P1	64,1	0,0064	0,9724	212,04	***	2,19
P2	66,6	0,0073	0,9577	136,96	***	2,98
P3	69,2	0,0062	0,9571	135,02	***	2,88

A: máxima degradación de materia orgánica; k: constante de velocidad; R²adj: coeficiente de estimación ajustado; SEE: error de estimación estándar

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

En la tabla 3-3 se muestra los resultados de la ecuación cinética de primer orden para el perfil de degradación de MO, en donde la variación expuesta por el modelo es mayor al 95%. Resultados afines de (A) fueron alcanzados en investigaciones efectuados por (Gavilanes, et al., 2016). No

obstante, los resultados para la constante de velocidad (k) en esta experimentación fueron menores a los reportados por los autores mencionados anteriormente. Debido a la variabilidad del porcentaje de FORSU en la pila 1 disminuyó la tasa de degradación A, para las tres pilas el nivel de significancia fue de $P < 0.001$.

Tabla 4-3: Evolución de parámetros durante el proceso de compostaje

Pila 1: 90% DE RSU + 10% PODA														
Tiempo (días)	pH		CE (dS/m)		MO (%)		Corg / Nt		Nt (%)		CIC		IG (%)	
0	6,6	a	1,6	a	73	d	32,0	b	1,3	d	0,7	bc	4,0%	a
28	8,4	c	1,8	b	71	d	29,3	b	1,4	e	0,3	a	27,3%	b
47	8,5	c	1,9	b	70	cd	24,5	a	1,7	f	0,5	ab	53,3%	c
60	8,8	d	2,2	c	69	bcd	35,3	c	1,1	c	0,8	c	56,1%	c
75	7,5	b	2,4	d	67	abc	47,9	f	0,8	a	0,8	c	65,7%	d
91	8,9	de	3,1	e	66	ab	42,0	e	0,9	b	0,6	bc	71,3%	e
151	9,2	e	3,4	f	63	a	38,7	d	0,9	b	0,7	c	74,8%	e
ANOVA	***		***		***		***		***		***		***	
Pila 2: 80% DE RSU + 20% PODA														
0	6,4	a	1,6	a	74,5	c	27,4	a	1,6	e	0,7	bc	3,1%	a
28	8,3	c	1,7	ab	71,3	bc	28,2	a	1,5	d	0,4	a	23,9%	b
47	8,1	b	1,8	ab	70,7	b	26,4	a	1,6	e	0,6	ab	57,5%	c
60	8,7	d	1,8	b	69,4	b	48,9	c	0,8	b	0,6	bc	57,9%	c
75	8,6	d	2,2	c	68,6	b	56,2	d	0,7	a	0,4	a	63,8%	cd
91	8,9	e	3,2	d	64,8	a	47,5	c	0,8	b	0,5	ab	70,1%	de
151	8,9	e	4,4	e	62,2	a	36,2	b	1,0	c	0,8	c	74,7%	e
ANOVA	***		***		***		***		***		***		***	
Pila 3: 100% DE RSU + 0% PODA														
0	6,8	a	1,7	a	73,4	d	30,4	a	1,4	f	0,7	ab	3,0%	a
28	9,4	c	1,8	a	71,1	cd	40,9	c	1,0	d	0,6	ab	21,1%	b
47	9,4	cd	1,8	a	69,7	bc	35,6	b	1,1	e	0,5	a	53,8%	c
60	9,6	e	2,0	b	69,4	bc	47,5	d	0,9	c	0,6	ab	58,2%	d
75	9,5	d	2,9	c	67,5	b	60,3	f	0,7	a	0,5	a	63,6%	e
91	9,0	b	3,1	c	64,3	a	49,8	de	0,8	b	0,7	b	71,1%	f
151	9,3	c	3,7	d	62,1	a	52,0	e	0,7	ab	0,9	c	74,8%	g
ANOVA	***		***		***		***		***		***		***	

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; Corg: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; CIC: capacidad de intercambio catiónico; IG: índice de germinación

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

La existencia de diferencias significativas ($P < 0,001$) en el proceso de la experimentación entre niveles de los parámetros en estudio se calculó mediante un análisis de varianza (ANOVA) para los diferentes ensayos P1: 90% RSU + 10% PODA, P2: 80% RSU + 20% PODA y P3: 100% de RSU + 0% PODA. Los resultados para los parámetros en estudio durante el tiempo de compostaje

se confirmaron al realizar la prueba de Tukey, por ser idónea para la comparación de tratamientos múltiples, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (95%). Para ello se utilizó el programa IBM SPSS Statistics.

En la tabla 4-3 se detalla el parámetro de pH de las tres pilas analizadas, las mismas iniciaron con valores ligeramente ácidos lo que indica que los RSU llegaron con un procedimiento previo de degradación P1 (6.6), P2 (6.4) y P3(6.8). Las pilas reflejaron un incremento de pH con una alcalinidad media, aquellas siguieron la misma tendencia durante el proceso. Las pilas 2 y 3 lograron una mayor alcalinidad al final del proceso debido especialmente a su mayor porcentaje de FORSU que conllevó a una descomposición de los compuestos de tipo ácido, como los grupos carboxílicos y debido a la mineralización de albuminoides, glúcidos y péptidos a amoníaco (Tolagasi, 2013), este comportamiento se analizó en el compostaje de residuos vegetales de origen municipal (Echeverri, 2004; Gatón, 2002; Jarre, 2016).

Los valores de pH evaluados al final del proceso se encontraron en un rango de (8.9 - 9.3), superando el sugerido como idóneo para el uso agrícola del compost, según (EPA, 2001; Ecológicos, 2006; Europea, 2014), pero acorde (Déportes, et al., 1988) para materiales de residuos sólidos municipales y en la evaluación de la humedad en compostaje de bioresiduos de origen municipal. (Castro García, et al., 2016).

Los bioresiduos municipales se caracterizan por tener altos contenidos de proteínas y al descomponerse pueden incrementar el pH (Chang & Hsu, 2008).

En la Tabla 4-3 se detalla que los valores de la CE 1,7 dS/m, 1.6 dS/m y 1.7 dS/m, para los tres abonos orgánicos, se incrementan a 3,4 dS/m, 4,4 y 3,7 dS/m, debido al proceso de mineralización de la materia orgánica que produce un aumento de nutrientes y esto hace que la CE se eleve (Galea, 2013). Es recomendable que los valores de CE sean inferiores, motivado a que la presencia de sales está ligada con la concentración de elementos como el sodio y potasio, y a compuestos de cloro, sulfatos, y sales de amonio que en superiores proporciones imposibilitan el crecimiento de las plantas (Brito, et al., 2016).

Se ha justificado valores de aplicabilidad de compost provenientes de bioresiduos con resultados de conductividad eléctrica de 3.69 dS/m a 7.49 dS/m que no han inhibido el crecimiento de las plantas (Tchobanoglous, et al., 1998).

La relación C/N al inicio del estudio del compostaje en los ensayos P1, P2 y P3 evidenció porcentajes de 32 %; 27,4% y 30,4% respectivamente, relaciones que estuvieron dentro del rango

establecido (25-35) (FAO, 2013). Estos valores presentaron un ligero descenso en la etapa biooxidativa cuando inició la mineralización de la materia orgánica, sin embargo, finalizaron con una estabilidad puntualizando valores de 38,7 %, 36,2 % y 52% respectivamente para los tres compost de la Pila 1, Pila 2 y Pila3 respectivamente (Tabla 4-3). Las pilas 1 y 2 durante la parte intermedia y final de la fase biooxidativa (60, 75 y 91 días), tuvieron un ligero incremento en su relación C/N, llegando a una estabilización en la fase de maduración.

La pila 3 a partir del día 60 tuvo una tendencia superior al rango sugerido de < 40 % en su relación C/N, estas variaciones en el incremento de la relación > 40%, fueron probablemente a la disminución de la actividad biológica en la que los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono por la consiguiente ralentización del proceso (Navarrón, 2016). Estos porcentajes fueron evidenciados en investigaciones similares con material particulado procedente de biomasa (Lopez, et al., 2016).

Las pilas 1, 2 y 3 obtuvieron valores elevados de relación C/N; 38,7%, 36,2% y 52% respectivamente, estos resultados fueron motivados por el porcentaje de RSU y PODA de los ensayos, como a un elevado porcentaje de humedad de 70% - 80% durante la etapa degradativa de materia orgánica, esto produjo una mayor compactación del material, menor porosidad y transferencia de oxígeno (Silva V., et al., 2003)

La evolución en el porcentaje del Nt en los tres ensayos (Tabla 4-3) evidenció un descendente valor de 0,94 % para la pila 1 y 0,69% para la pila 2 y llegando a una estabilidad del 1% para la pila 3, a diferencia de los porcentajes iniciales 1,3%; 1,6% y 1,4% respectivamente. Estos resultados fueron evidenciados y analizados en otros ensayos por (Galea, 2013) en estudios con guacamole y poda y por (Castro García, et al., 2016) con bioresiduos de origen municipal.

Los valores del índice de germinación tuvieron un incremento al finalizar las fases del compostaje, se evidenció un 74,8% para el compost 1; 74,7% correspondiente al compost 2 y 74,8% del compost 3 (Tabla 4-3), en comparación con los porcentajes iniciales para las tres pilas, los que fueron bajos debido a la presencia de toxicidad por patógenos característicos de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU). Al final los tres abonos orgánicos reflejaron una ausencia total de fitotoxicidad, debido a que superaron el rango > 50 % establecido por (Zucconi, et al., 1981).

3.4. Evaluación de las pilas de compost en su etapa final

Tabla 5-3: Concentración de Aniones, nutrientes y metales pesados para los compost maduros

	Compost 1	Compost 2	Compost 3	EPA	European Guidelines	Ecological Criteria
MO (%)	62,87	62,15	62,14	50 – 60	>15	>20
Nt (%)	0,94	1,01	0,69	≥ 10	-	<30
Aniones (mg/L)						
Cloruros	4,47	3,43	2,5	-	-	-
Sulfatos	5	4	3,9	-	-	-
Nitratos	1,07	1,6	1,43	-	-	-
Fosfatos	0,51	0,46	0,45	-	-	-
Metales Pesados (mg/kg)						
Cromo	<50	<50	<50	1200	100	100
Cadmio	<0,25	<0,25	<0,25	39	1,5	1
Plomo	<10	<10	<10	300	120	100
Arsénico	<10	<10	<10	41	-	10
Selenio	<0,5	<0,5	<0,5	100	-	1,5
Níquel	<10	<10	<10	420	50	50
Mercurio	0,07	<0,05	<0,05	17	1	1
Macroelementos (g/kg)						
Sodio	2,21254	2227,14	2604,75	-	-	-
Fósforo	2,88627	2373,59	2993,57	≥ 10	-	-
Potasio	13,73658	10484,72	14856,65	-	-	-
Calcio	19,40667	15007,98	16351,11	-	-	-
Magnesio	5,22779	4520,76	5362,43	-	-	-
Microelementos (mg/kg)						
Hierro	10937,88	9165,23	10286,3	-	-	-
Cobre	44,62	31,7	30,39	1500	200	100
Manganeso	145,66	131,78	125,19	-	-	-
Zinc	175,42	76,97	50,28	2800	600	300

MO: materia orgánica; Nt: nitrógeno total

Realizado por: Byron Ruiz y Marco Tixe, 2018

La tabla 5-3 manifiesta las esenciales características asociadas con los aspectos nutricionales y a la toxicidad por metales pesados en los ensayos 1, 2 y 3. Las tres pilas de compost reflejaron una estabilización de la materia orgánica al finalizar el proceso a los 151 días del compostaje (Tabla 5-3), estos valores se encuentran en rango $\geq 45\%$ establecido para un compost de calidad tipo A bajo las directrices de (INN, 2003), y un valor que sensiblemente supera el rango de 50-60 %MO determinado para un compost derivado de materia prima municipal establecido por (EPA, 2001), y se encuentra bajo el rango $>15\%$ MO citados por la norma (Europea, 2014) y $>20\%$ del %MO referido por (Ecológicos, 2006).

Al estudiar el valor nutricional de los tres abonos orgánicos los macronutrientes, tales como Na, P, K, Ca y Mn, fueron concentraciones superiores en los tres compost, con un valor superior en el compost 3 a diferencia del 1 y 2 (Tabla 5-3). El Na es el nutriente que se encuentra por debajo del límite ≥ 10 g/kg establecido por (EPA, 2001) en el compost 1. Los valores reportados son de gran

relevancia debido a que la calidad del abono orgánico está determinada en relación con el agrosistema que será utilizado como emmienda del suelo y producción de cultivos (Pérez C., et al., 2010).

Los tres ensayos tuvieron valores de Nt inferiores a lo establecido en el rango de ≥ 10 g/Kg de acuerdo a la (EPA, 2001), así mismo sus valores de Nt se situaron por debajo del rango > 30 g/Kg referenciado por (Ecológicos, 2006) y a lo establecido por (Europea, 2014). Estos valores fueron observados por (Catillo, et al., 2000) en compostaje con desechos de cocina y fue determinada por (Madrid, et al., 2001) como valores propios en la caracterización de los compost de residuos sólidos urbanos.

El contenido de micronutrientes tales como Fe, Cu, Mn y Zn en las tres pilas tuvieron un evidencial incremento de su concentración en comparación con los valores registrados en los materiales de partida (Tabla 2-3). Los tres abonos orgánicos tenían concentraciones de Fe superiores, aquellos valores fueron evidenciados en otro ensayo con materiales de RSU (Torres, et al., 2007). Sin embargo el Cu y Zn se establecieron en los rangos descritos por el límite permisible en el compost citados por las directrices Americana, Europea y Criterios Ecológicos (Europea, 2014; Ecológicos, 2006; EPA, 2001).

La toxicidad por metales pesados es el factor a tener más en cuenta como limitante en el uso agrícola por sus efectos negativos a largo plazo sobre los eslabones de la cadena trófica (Echeverri, 2004). El contenido de metales pesados en los tres tipos de compost demostró valores inferiores por debajo de los límites permisibles para compost mencionados en las directrices de América, Europa y Criterios Ecológicos (EPA, 2001; Europea, 2014; Ecológicos, 2006).

CONCLUSIONES

- Se realizó la revisión ambiental inicial en la que se evidenció que al relleno sanitario de Porlón ingresan 183,741 Ton/día de RSU, determinando la viabilidad del reciclaje y la implementación de técnicas como el co-compostaje para el tratamiento de la FORSU, así se minimizará la incidencia negativa ocasionada por su degradación, garantizando acciones sostenibles en su tratamiento.
- Se realizó la caracterización de la fracción orgánica donde se demostró un importante porcentaje existente en los RSU con 62,55 % (114,9 Ton/día), siendo los fines de semana los días con mayor abundancia de recolección. Al realizar los análisis químicos de los materiales de partida (FORSU Y PODA) permitió evidenciar una óptima relación C/N para cada ensayo experimental, lo que garantizó la viabilidad de la técnica de compostaje.
- Se elaboró las pilas de compostaje P1, P2 y P3, siendo la relación C/N: 32, 27,4 y 30,4 respectivamente, sumados al %Nt y %MO, lograron aportar en el diseño óptimo para cada ensayo. Las composiciones de los experimentos fueron las siguientes: 10% de PODA y 90% de FORSU para la pila 1; 20% de PODA y 80% de FORSU para la pila 2; y 100% de FORSU para la pila 3. En el análisis de metales pesados se verificó su baja concentración lo que asegura el cumplimiento de los límites permisibles para el desarrollo del compost.
- Se realizó el control en el desarrollo del compostaje a través de la medición y análisis de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos tales como: pH, temperatura, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación C/N, capacidad de intercambio catiónico e índice de germinación, así como el control inicial y final de la concentración de nutrientes y metales pesados de los ensayos estudiados.
- Se evaluó la calidad de los tres compost de acuerdo a los criterios óptimos de calidad, evidenciando el rango idóneo de higienización del 74,8 % de IG, un bajo nivel de impurezas y toxicidad por metales pesados. La conductividad eléctrica presentó un incremento > 3.4 dS/m proporcionando mayor equilibrio en la concentración ascendente de nutrientes para las pilas P1, P2 y P3, lo que determinó que el porcentaje de PODA influencia de manera directa en la calidad del compost. Cumpliendo con el requerimiento de la directriz Americana, Europea y Criterio Ecológico del suelo en función a la necesidad agrícola, los compost 1, 2 y 3 son clase A.

RECOMENDACIONES

- En el área de compostaje en un relleno sanitario se deberá construir una placa base de hormigón en la cual deberán estar designados los espacios para la separación de la fracción orgánica, trituración y elaboración de las pilas de compost, las dimensiones serán consideradas debido a la cantidad de residuo biodegradable destinados al compostaje y las necesidades de producción.
- El compostaje de la fracción orgánica de los residuos de origen municipal se caracterizan por un elevado contenido de humedad, por lo que se recomienda como medida de control el incremento en la frecuencia de los volteos para garantizar una mejor mineralización del RSU en las pilas de compostaje.
- La descomposición de la materia orgánica utilizada para la composta en un relleno sanitario, presenta proliferación de vectores y olores, por lo que se recomienda para el control de estos aspectos la implementación de un proceso de oxigenación asociado a factores que involucran el tamaño y distribución de partícula, volteos frecuentes y control de humedad.

BIBLIOGRAFÍA

Alcolea, Mirian & González, Cristina. *Importancia de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos.* Barcelona - España : Editorial Cervantes, 2016 pp. 61-62.

Alvarez, José. *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica.* Andalucía - España : Editorial Carrascal, 2017, pp. 12-69.

Andrade, Jacobo. *Técnicas para el aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos con alta tasa de biodegradación.* Lima - Perú: Editorial CRC press, 2015, pp. 54-55.

Atlas, Ronald M. & Bartha, Richard. *Ecología microbiana y microbiología ambiental.* Madrid-España. Editorial Moriyón, 2001 pp. 25-26.

Brito, Hanníbal, Viteri, Rafaela & Guevara, Luis. "Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba". *Revista e-journal* [En línea], 2016,(Ecuador)12(29), pp. 83-85. [Consulta: 27 de julio del 2018]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p76>

Careaga, Juan. *Menejo y Reciclaje de los residuos de Envases y Embalajes.* México : Editorial Sedesol, 2017, pp. 3-36.

Catillo, Alicia E., Quarín, Silvio H. ; Iglecias, María C. "Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados". *Revista SciELO* [En línea], 2000, (Argentina) 60(1), pp. 17-24. [Citado el: miércoles de agosto de 2018]. ISSN 0365-2807. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S036528072000000100008&script=sci_arttext&tlng=pt.

Castro, Macarena & Bernal, Lourdes. "*Actividades Clasificadas Medio Ambiente y Residuos Sólidos Urbanos*". [En línea]. Madrid - España : Editorial La Ley - Actualidad, S. A., 2005 . [Consulta: 15 de Julio del 2018]. Disponible en: <http://laleydigital.laley.es/Content/Inicio.aspx>

Castro, G, Daza, M & Marmolejo, L. "Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos del Municipio del Versalle, Valle del Cauca". *Revista unal* [En línea], 2016, (Colombia) 19(1), pp. 179-191. [Consulta: 25 de septiembre del 2018]. ISSN 2357-5905. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/53672>

Echarri, L. *Ciencia de la Tierra y el Medio Ambiente*. [En línea]. Madrid-España: Editorial Teide, 1998 [Consulta: 30 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/01IntrCompl/100MedAmb.htm>

Criterios Ecológicos 2006. *Calidad y Evaluación Ambiental del suelo*.

Elias, Xavier. *Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos Sólidos Urbanos y Fangos de Depuradora*. [En línea]. 2. Madrid-España : Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1999 [Consulta: 10 de septiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788353.pdf>

EPA. 2001. *A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA*.

Escamirosa, L., Del Carpio C., Castañeda G. & Quintal C. *Manejo de los Residuos Sólidos Domiciliarios en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas*. [En línea] México-ciudad de México : Editado por Plaza y Valdés, 2001. [Consulta: 17 de septiembre del 2018]. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.04.12/46721>

Galea, Camacho Zesay. Ensayo de producción y caracterización de composta a partir de aguacate y gallinaza. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Pablo de Olavide Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales Área de Tecnologías del Medio Ambiente. Sevilla- España. pp. 71-73. [Consulta: 3 de septiembre del 2018]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/80186/1/Ensayo%20de%20producci%C3%B3n.pdf>

Gatón, Juan José Mohedo. Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Córdoba Facultad de ciencias, Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química. Córdoba-España. 2002. pp. 35-77. [Consulta: 5 de agosto del 2018]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/365/13207295.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez, Manuel. Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Córdoba Facultad de ciencias, Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química. Córdoba-España. 2008. pp. 130-147. [Consulta: 5 de agosto del 2018]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/handle/10396/366>

Europea, Conisión. 2014. *Manual European Eco-label Soil Impro.*

Grijalbo, Lucia. *Elaboración de inventarios de consumo de materias primas y recursos.* [En línea]. Madrid-España: Editorial Tutor Formación, 2016. [Consulta: 20 de agosto del 2018]. Disponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-uf1942-elaboracion-de-inventarios-de-consumo-de-materias-primas-y-recursos/9788416482351/4689439>

Guerra, Gabriela. 2016. Plan de manejo de residuos sólidos para la cabecera cantonal de Santiago de Píllaro. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Escuela de Ciencias Químicas Riobamba - Ecuador. 2016. pp. 30-48. [Consulta: 30 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3155/1/236T0086.pdf>

Gavilanes, Irene, Jara, Janneth & Idrovo, Julio. 2016. "Hilera de compostaje como estrategia de gestión de residuos hortícolas". *Revista Elsevier* [En línea] 2016, (Ecuador) 48(1), pp. 127.134. [Consulta: 30 de agosto del 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302105>

INN. 2003. *Proyecto de Norma en Consulta Pública NCh2880.*

Jara Samaniego, Janneth. Manejo y Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos de la Provincia de Chimborazo - Ecuador y su Potencial uso en la agricultura. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Miguel Hernández. Valencia-España. 2014. pp. 23-57. [Consulta: 29 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/handle/11000/2003>

Jaramillo, J. . *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.* [En línea]. Antioquia -Colombia. Editorial Cepis, 2009. [Consulta: 29 de agosto del 2018]. Disponible en: <https://ambiente.lapampa.gob.ar/images/stories/Imagenes/Archivos/Guia.pdf>

Jarre, Emilio. 2016. Planta de Compostaje de RSU y Residuos Cítricos Industriales. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Sevilla-España 2015. pp. 20-67. [Consulta: 30 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/4187>.

Kalil, Sandra. Seguimiento del Proceso de humificación en compost inoculado. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias Bogotá

- Colombia. 2007. pp. 30-54. [Consulta: 30 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis288.pdf>

Leite Mansur, Gilson & Penido Monteiro, José Henrique. *Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de américa latina y el caribe.* [En línea]. Río de Janeiro-Brasil. Editorial CDD. 2006. [Consulta: 18 de septiembre del 2018]. Disponible en: http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/girs_esp.pdf

FAO. 2013. *Manual de compostaje del agricultor.*

Márquez Benavides, Liliana. *Residuos sólidos.* [En línea]. Michoacan-Mexico. Editorial Liliana Márquez Benavides. 2012. [Consulta: 30 de julio del 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/317703414>

Márquez, Pedro, Díaz, Manuel & Cabrera, Francisco. "Factores que afectan al proceso de compostaje". *Revista Dialnet* [En línea], 2008, 2(5) (España) pp. 93-110 [Consulta: 27 de julio del 2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3229470>.

Ordenanza 021-2011. *Gestión integral de residuos sólidos canton Riobamba*