



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**EFEECTO DEL AGENTE ESTRUCTURANTE (PODA) EN EL  
PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL  
MERCADO MAYORISTA SAN PEDRO DE RIOBAMBA.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: ROSA ANA CANDO MORENO**

**DIRECTORA: DRA. JARA SAMANIEGO LOURDES JANNETH PhD.**

Riobamba – Ecuador

2022

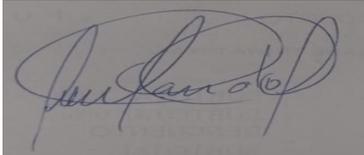
© 2022, Rosa Ana Cando Moreno

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

Yo, ROSA ANA CANDO MORENO, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior de Chimborazo.

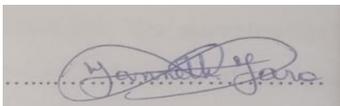
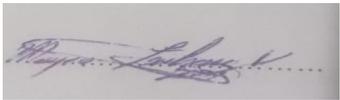
Riobamba, 01 de abril de 2022.

A rectangular box containing a handwritten signature in dark ink. The signature is cursive and appears to read 'Rosa Ana Cando Moreno'.

**Rosa Ana Cando Moreno**  
**C.I. 060434429-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico, **EFFECTO DEL AGENTE ESTRUCTURANTE (PODA) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL MERCADO MAYORISTA SAN PEDRO DE RIOBAMBA**, realizado por la señorita: **ROSA ANA CANDO MORENO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Carrera Beltrán Lourdes Cumandá Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 .....	2022-04-01
Dra. Jara Samaniego Lourdes Janneth PhD. <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 .....	2022-04-01
Ing. Zambrano Vinueza Mayra Paola Mgs. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 .....	2022-04-01

## **DEDICATORIA**

A mi Dios quien ha guiado mi camino, me ha protegido y me ha bendecido con la salud y dándome las fuerzas para lograr mis objetivos, a mis padres Jorge y Laura, mi motor de vida, mi orgullo, mi fortaleza, por ser mis ángeles terrenales, por todo su amor que ilumina mi vida, gracias papitos por creer en mí, siempre estuvieron en cada paso que daba; dándome fuerza, por su paciencia, gracias por sus palabras de aliento, por nunca dejarme sola, por sus bendiciones diarias, por hacer de mí una mujer con valores, por regalarme mi carrera universitaria, a mis hermanos Alex, Carla, Gabriela y Jorge por formar parte de mis días, por sus palabras de aliento; y, a mis sobrino/as Allison, Nicolás y Kiarita para que yo sea su ejemplo de persistencia.

***Rosa***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme la vida, la salud que son las bendiciones más grandes para poder llegar a cumplir mi anhelada meta, a mis padres Jorge y Laura por ser mi ejemplo de fe, amor, esperanza, apoyo, fortaleza, a mis hermanos Alex, Carla, Gabriela y Jorge por sus palabras de aliento, al Gobierno Autónomo Descentralizado de Riobamba, por brindarme todas las facilidades durante la realización de mi trabajo de campo, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, principalmente a la Facultad de Ciencias Químicas, Carrera Ingeniería Química, por sus enseñanzas impartidas formando una profesional productiva y competitiva, a aquellas personas que no dudaron de mí potencial, pues me impulsaron a llegar hasta el final y me ayudaron a demostrar que todo es posible.

***Rosa***

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1.	Relleno Sanitario .....	6
1.1.1.	<i>Características de un relleno sanitario.</i> .....	6
1.2.	Residuo .....	7
1.3.	Residuos orgánicos .....	7
1.4.	Residuos reciclables.....	8
1.5.	Residuos no reciclables.....	8
1.6.	Residuo peligroso.....	8
1.7.	Residuo no peligroso.....	8
1.8.	Residuos especiales .....	9
1.9.	Rellenos como componentes de la gestión integral de RSU.....	9
1.10.	Jerarquización de las etapas del manejo de residuos sólidos. ....	10
1.10.1.	<i>Minimización en la fuente.</i> .....	10
1.10.2.	<i>Valorización y su aprovechamiento.</i> .....	10
1.10.3.	<i>Transformación del residuo sólido.</i> .....	11
1.10.4.	<i>Etapas concluyentes del residuo y clausura</i> .....	11
1.11.	Residuos sólidos orgánicos.....	12
1.11.1.	<i>Clasificación de los residuos sólidos orgánicos.</i> .....	12
1.12.	Abono orgánico.....	14
1.13.	Compostaje.....	14
1.14.	Seguimiento del control de proceso de compostaje .....	14
1.14.1.	<i>Volteo de compostaje</i> .....	14
1.14.2.	<i>Monitoreo del compostaje</i> .....	15

1.15.	Fases del proceso de elaboración de compost .....	15
1.16.	Variables de control en el proceso de compostaje .....	17
1.17.	Sistemas de compostaje .....	20
1.18.	Transformación en compost .....	21
1.19.	Macronutrientes N, P y K .....	22
1.20.	Beneficios del compost .....	22
1.21.	Aspectos legales .....	22
1.21.1	<i>Marco Legal implementable en el uso agrícola del compost.</i> .....	24

## CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO .....	25
2.1.	Población de estudio .....	25
2.2.	Tamaño de muestra .....	25
2.3.	Selección de muestra .....	25
2.4.	Lugar de estudio .....	25
2.5.	Tipo y diseño de investigación .....	26
2.5.1.	<i>Tipo de Investigación</i> .....	26
2.5.2.	<i>Diseño de la investigación</i> .....	26
2.6.	Técnicas experimentales .....	26
2.6.1.	<i>Recolección y transporte de los residuos orgánicos</i> .....	26
2.6.2.	<i>Montaje de pilas</i> .....	26
2.6.3.	<i>Control del proceso</i> .....	27
2.7.	Materiales y Equipos .....	27

## CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
3.1.	Caracterización fisicoquímica y química de la muestra inicial .....	30
3.2.	Parámetros de control del proceso de compostaje .....	30
3.2.1.	<i>Parámetros físicos químicos</i> .....	30
3.2.1.1.	<i>Potencial de hidrógeno</i> .....	30
3.2.1.2.	<i>Temperatura</i> .....	31
3.2.1.3.	<i>Conductividad Eléctrica CE</i> .....	32
3.2.2.	<i>Parámetros químicos</i> .....	32
3.2.2.1.	<i>Materia orgánica MO</i> .....	32
3.2.3.	<i>Parámetros Biológicos</i> .....	33

3.2.3.1.	<i>Índice de Germinación</i> .....	33
3.3.	<b>Evaluación de la calidad del compost</b> .....	33
3.4.	<b>Análisis estadístico</b> .....	34
<b>CONCLUSIONES</b> .....		37
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		38
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b>	Tipos de rellenos sanitarios.....	7
<b>Tabla 3-2.</b>	Materiales y equipos en el trabajo de campo .....	27
<b>Tabla 4-2.</b>	Materiales y equipos de laboratorio.....	28
<b>Tabla 5-2.</b>	Parámetros Físico-químicos.....	28
<b>Tabla 6-2.</b>	Parámetros químicos.....	28
<b>Tabla 7-2.</b>	Parámetros biológicos.....	29
<b>Tabla 8-3.</b>	Caracterización fisicoquímica y química de la muestra inicial .....	30
<b>Tabla 9-3.</b>	Evaluación de la calidad del compost.....	34
<b>Tabla 10-3.</b>	ANOVA de un factor.....	35
<b>Tabla 11-3</b>	Método de Tukey.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Fases del proceso del compost .....	15
<b>Figura 2-2.</b>	Mapa de ubicación del vertedero de Porlón .....	25
<b>Figura 3:</b>	Peso de los residuos de mercado .....	48
<b>Figura 4:</b>	Recepción de residuos .....	48
<b>Figura 5:</b>	Formación de las pilas .....	48
<b>Figura 6:</b>	Pilas formadas .....	49
<b>Figura 7:</b>	Toma de temperatura .....	49
<b>Figura 8:</b>	Volteo .....	49
<b>Figura 9:</b>	Limpieza de las pilas después del volteo .....	50
<b>Figura 10:</b>	Muestreo .....	50
<b>Figura 11:</b>	Compost .....	50
<b>Figura 12:</b>	Pesaje .....	51
<b>Figura 13:</b>	Calcinar muestras para MO .....	51
<b>Figura 14:</b>	Desecado .....	51
<b>Figura 15:</b>	Pesaje .....	52
<b>Figura 16:</b>	Determinar CE y pH .....	52
<b>Figura 17:</b>	Centrifugación y filtración para determinar CE y Ph .....	52
<b>Figura 18:</b>	Determinación de pH y CE .....	53
<b>Figura 19:</b>	Digestión Acida .....	53
<b>Figura 20:</b>	Determinación de macronutrientes .....	53
<b>Figura 21:</b>	Determinación de macronutrientes .....	54
<b>Figura 22:</b>	Filtración al vacío .....	54
<b>Figura 23:</b>	Incubación a 28°C .....	54
<b>Figura 24:</b>	Semillas germinadas .....	55

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1.</b>	Clasificación de los residuos sólidos orgánicos.....	13
<b>Gráfico 2-1.</b>	Variables de control en el proceso de compostaje.....	17
<b>Gráfico 3-3.</b>	Evolución del Potencial de hidrógeno (pH).....	30
<b>Gráfico 4-3.</b>	Evolución de la temperatura .....	31
<b>Gráfico 5-3.</b>	Conductividad Eléctrica CE .....	32
<b>Gráfico 6-3.</b>	Materia orgánica MO (%).....	32
<b>Gráfico 7-3.</b>	Índice de Germinación.....	33

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** TÉCNICAS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE  
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

**ANEXO B:** ETAPA PRÁCTICA

**ANEXO C:** ANÁLISIS DE LABORATORIO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>As</b>	Arsénico
<b>C</b>	Carbono
<b>C/N</b>	Relación Carbono/Nitrógeno
<b>Ca</b>	Calcio
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>CE</b>	Conductividad Eléctrica
<b>CIC</b>	Capacidad de Intercambio Catiónico
<b>Cl-</b>	Cloruro
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>COOTAD</b>	Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización
<b>Corg</b>	Carbono Orgánico
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cu</b>	Cobre
<b>dS/m</b>	DeciSiemen por metro
<b>EPA</b>	Agencia de protección Ambiental
<b>Fe</b>	Hierro
<b>FO</b>	Fracción Orgánica
<b>FORSU</b>	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos
<b>GAD</b>	Gobiernos Autónomos Descentralizados
<b>GIRS</b>	Gestión Integral de Residuos Sólidos
<b>GIRSU</b>	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
<b>Ha</b>	Hectáreas
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>IG</b>	Índice de Germinación
<b>K</b>	Potasio
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>kg/hab/día</b>	Kilogramo por habitante por día
<b>Kw/h</b>	Kilovatios por hora
<b>m</b>	Metro
<b>Mg</b>	Miligramo
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>MO</b>	Materia Orgánica
<b>mS/cm</b>	Milliseimens por Centímetro
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar

<b>N</b>	Nitrógeno
<b>Na</b>	Sodio
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoníaco
<b>Ni</b>	Níquel
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitratos
<b>Nt</b>	Nitrógeno Total
<b>NTRS</b>	Norma Técnica de Residuos Sólidos
<b>P</b>	Fósforo
<b>P1</b>	Pila 1
<b>P2</b>	Pila2
<b>P3</b>	Pila3
<b>Pb</b>	Plomo
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>PNGIDS</b>	Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos
<b>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Fosfatos
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>RSU</b>	Residuos Sólidos Urbanos
<b>Se</b>	Selenio
<b>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Sulfatos
<b>SV/ST</b>	Relación Sólidos Volátiles / Sólidos Totales
<b>Ton/día</b>	Toneladas por día
<b>Zn</b>	Zinc
<b>%</b>	Porcentaje
<b>%H</b>	Porcentaje de Humedad
<b>°C</b>	Grados Celsius

## RESUMEN

El presente Trabajo de Integración Curricular se realizó en el Relleno Sanitario “San Jerónimo de Porlón”, ubicado a 10Km de la ciudad de Riobamba. El objetivo de la investigación fue establecer el efecto del agente estructurante sobre los residuos orgánicos del mercado mayorista San Pedro de Riobamba, con el propósito de obtener un compost de calidad aceptable y utilizarlo como enmienda orgánicos de suelos para cualquier tipo de cultivos. Los residuos de mercado se recogieron selectivamente y fueron mezclados con poda, en diferentes proporciones. El sistema de compostaje fue mediante el armado de pilas a cielo abierto y con volteo automático. Se formaron tres pilas con diferente relaciones carbono/nitrógeno: Pila 1: 8800 Kg de residuos de mercado + 1800 Kg de poda (3:1), Pila 2: 8000 Kg de residuos de mercado + 1300 Kg de poda (6:1) y Pila 3: 3600 Kg de residuos de mercado + 400 Kg de poda (9:1). La temperatura se controló tres veces a la semana, alcanzando los 65°C. La humedad se mantuvo entre 60% - 70%. Antes de cada volteo, se recogieron las muestras por el método del cuarteo. Éstas, previamente secadas y molidas, se analizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias y los resultados se reportaron sobre base seca. Los valores de materia orgánica fueron: Pila 1:32,33%; Pila 2:34,01% y P3:44,21%. Los valores de macronutriente: nitrógeno, fósforo y potasio, en todos los casos, superaron el 1%. El Índice de Germinación fue: para la P1:88,22%; P2:90,66% Y P3:91,18% lo que es un indicativo de baja toxicidad, por lo mismo se recomienda que este abono sea utilizado directamente como enmienda de suelos e incluso como materia prima para otro tipo de abonos.

**Palabras clave:** <AGENTE ESTRUCTURANTE>, <COMPOSTAJE>, <MACRONUTRIENTE>, <RESIDUOS ORGÁNICO>, <SUELOS>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.

LEONARDO  
FABIO  
MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por  
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, ou=BANCO CENTRAL DEL  
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE INFORMACION-  
ECONOMICA, i=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA  
NUSTE  
Fecha: 2022.06.30 09:51:15 -05'00'

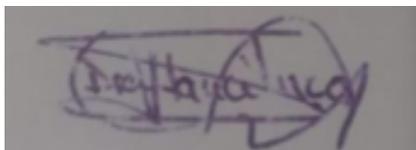


1381-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

This Curricular Integration Project was carried out at the San Jerónimo de Porlón Sanitary Landfill, located 10 km from Riobamba. The aim of the research was to establish the effect of the structuring agent on organic waste from the San Pedro de Riobamba Mayorista market, in order to obtain a compost of acceptable quality and use it as an organic soil amendment for any type of crops. The market waste was selectively collected and mixed with pruning, in different proportions. The composting system was by assembling piles in the open air and with automatic turning. Three piles with different carbon/nitrogen ratios were formed: Pile 1: 8800 Kg of market waste + 1800 Kg of pruning market waste + 1800 Kg of pruning (3:1), Pile 2: 8000 Kg of market waste + 1300 Kg of pruning (6:1) and Pile 3: 3600 Kg of market waste + 400 Kg of pruning (9:1). The temperature was controlled three times a week, reaching 65 °C. Humidity was maintained between 60% - 70%. Before each turning, samples were collected by the quartering method. The samples, previously dried and ground, were analyzed in the laboratories of the Faculty of Science and the results were reported on a dry basis. The results were reported on a dry basis. The organic matter values were: Pile 1: 32.33%; Pile 2: 34.01% and P3: 44.21%. and P3:44.21%. Macronutrient values: nitrogen, phosphorus and potassium, in all cases, exceeded 1%. The germination index was: for PI: 88.22%; P2: 90.66% and P3: 91.18%, which is an indication of low toxicity. This is an indicative of low toxicity; therefore, it is recommended that this fertilizer be used directly as a soil amendment and even as a soil amendment directly as a soil amendment and even as raw material for other types of fertilizers.

**Keywords:** <STRUCTURING AGENT>, <COMPOSITION>, <MACRONUTRIENT>, <ORGANIC RESIDUES>, <SOILS>, <RIOBAMBA (CANTON)>



.....  
Dra. Nanci Margarita Inca Chunata  
C.I. 0602926719

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la generación de residuos sólidos va aumentando cada día más, una de las principales razones es el crecimiento de la población que gestiona de forma ineficiente sus residuos. Un informe del (Banco Mundial, 2018) menciona que: si no se adoptan medidas urgentes, para 2050, los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % con respecto a los niveles actuales; los países de ingreso alto, si bien representan el 16 % de la población mundial, generan más de un tercio (34%) de los desechos del mundo. Del total de los residuos generados, el 44% son considerados residuos orgánicos dentro del cual se encuentra incluido el desperdicio alimentario. En América Latina, con base en esta problemática, se ha venido diseñando e implementado nuevas políticas tendientes a la gestión integral de los residuos sólidos, las cuales solo se pueden materializar mediante el seguimiento estricto de la normatividad ambiental (Banco Mundial, 2018). Es por esto, que la implementación de acciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos es fundamental para el cumplimiento de los objetivos de la gestión integral de los residuos sólidos.

Según datos obtenidos por la Asociación de Municipalidades del Ecuador (AME, 2014), en el país se genera un aproximado de 11 mil toneladas diarias de residuos sólidos, es decir un aproximado de 4 millones al año, de las cuales 61,4% son residuos orgánicos, 9,4% es papel y cartón, el 11% es plástico, 2,6% corresponde a vidrio, 22% se refiere a chatarra y el 13,3% representa variedad de basura. La Producción per cápita determinada fue 0,81 Kg/Hab/Día. El compostaje es un método sencillo y económico para aprovechar toda clase de residuos orgánicos biodegradables, desde desechos de jardín o cocina, papeles hasta estiércoles animales, pudiendo aplicarse tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) como individualmente (Röben, 2002).

El producto final del proceso de compostaje, llamado compost o composta se puede utilizar como enmienda orgánica en el suelo, para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La mejora de la estructura del suelo, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico, la eliminación de patógenos, entre otros, aumentarán el crecimiento de las plantas (Echarri, 2015).

Las labores de mantenimiento de las áreas verdes (corte de césped, recalce de plantas, podas, entre otras) generan grandes volúmenes de residuos orgánicos que en los procesos de compostaje actúan como agente estructurante. Por esta razón, se han mezclado con los residuos de mercado para compostar, aprovechando que el compostaje es una tecnología sencilla cuya finalidad es convertir la materia orgánica en un mejorador de suelo.

El presente proyecto tiene como objetivo establecer el efecto del agente estructurante sobre los residuos orgánicos del mercado mayorista San Pedro de Riobamba, con el propósito de obtener un compost de calidad aceptable, proponiendo de esta manera, una mejora en la gestión de los residuos orgánicos del mercado y de poda, a través del proceso de compostaje, un método muy antiguo y relativamente sencillo, que genera muchos beneficios, creando un enfoque sostenible

para obtener de esta manera un producto útil con valor agregado reduciendo los costos por disposición final en rellenos sanitarios.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, la utilización indiscriminada de fertilizantes químicos y plaguicidas en las labores agrícolas, con el fin de mejorar su productividad, ha afectado en gran medida a la comunidad microbiana del suelo, razón por la cual se deben combatir esas malas prácticas agrícolas, utilizando abonos orgánicos y combatiendo las plagas con bioinsumos.

La producción de compost genera la apertura del mercado de abonos orgánicos, lo que permitirá incrementar la promoción de la agricultura ecológica y la lucha contra la erosión, obteniendo así suelos renovados y ricos en nutrientes capaces de garantizar la calidad y mejores rendimientos de los cultivos, que satisfagan las necesidades de la población.

El compostaje de residuos orgánicos es la práctica más conveniente puesto que las inversiones económicas son modestas y los beneficios que brindan son múltiples, es por esto que se pretende promover un mercado para el compost, demostrando a los agricultores la eficiencia de los mismos, de tal manera que éstos se sientan motivados a usarlos. El compostaje es una forma de tratamiento para los residuos orgánicos, que tiene por finalidad convertir estos residuos en un producto beneficioso (compost) aplicable a la tierra como abono orgánico sólido o enmienda que se utiliza frecuentemente como mejorador del suelo en la agricultura, jardinería, huerto y obra pública.

A más de los beneficios de producir el compost, al realizar este tratamiento de la materia orgánica se evitaría disponer residuos orgánicos biodegradables en la celda emergente del relleno sanitario de Porlón, con lo que habría menor generación de lixiviados, vectores, se evitaría la formación de gases de efecto invernadero y se alargaría el tiempo de vida útil de la celda.

Indirectamente, 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 la población cercana al relleno sanitario.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General**

Establecer el efecto del agente estructurante sobre los residuos orgánicos del mercado mayorista San Pedro de Riobamba, con el propósito de obtener un compost de calidad aceptable.

### **Objetivos Específicos**

- Compostar los residuos orgánicos del mercado mayorista San Pedro de Riobamba con tres proporciones distintas de agente estructurante.
- Establecer la calidad del compost mediante el análisis de los principales parámetros físico-químicos, químicos y biológicos.
- Determinar el tratamiento que permita obtener un compost de calidad.

## ANTECEDENTES

Hace tiempos, la disposición de los residuos sólidos no proyectaba un mayor problema, ya que la población era minoritaria y la cantidad de suelo disponible para el aprovechamiento de los residuos era garrafal. Actualmente, estos residuos son prioritarios en el rescate del contenido energético y uso como abonos de los residuos sólidos orgánicos. El problema de los residuos ocupa un sitio importante y en los sectores privado como público y requiere actividades que ayuden a disminuir los daños al medio ambiente por parte de los rellenos sanitarios (Guerra, 2016, pp. 30-48).

En 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 m<sup>3</sup>/día de lixiviado con un volumen acumulado de 57.000 m<sup>3</sup> en 13 piscinas de almacenamiento distribuidas en las 40 hectáreas que conforman el relleno sanitario (EMGIRS, 2016, p. 24).

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 (EMGIRS, 2016, p. 24) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15)

Cuenca fue pionera en el manejo de los desechos sólidos, aplicando la separación y clasificación selectiva, lo que no se reutilizaba se trasladaba a la celda de almacenamiento y tratamiento, aplicando la 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 (Pérez, 2017, p. 75). Los residuos sólidos orgánicos son compostados.

En la ciudad de Riobamba, como en todas las ciudades del Ecuador, se genera gran cantidad de desechos debido a las diferentes actividades que en ella se desarrolla. El relleno sanitario de Porlón, ubicado en la parroquia Cubijíes, sector San Jerónimo de Porlón, 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.

Información brindada por personal que labora en las instalaciones del relleno sanitario de Porlón mencionaron que anteriormente existió un programa piloto cuyo propósito fue la elaboración de vermicompostaje, previo a 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 m<sup>3</sup> cada 3 meses y medio. La planta tenía una superficie de 200 m<sup>2</sup> y 21 celdas para el vermicompostaje.

Este proyecto también se interrumpió por problemas técnicos, falta de recursos, seguimiento y compromiso de las personas involucradas (Lara, 2013) citado por (Jara, 2014, pp. 37-38). 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 mediante el compostaje en mezcla con residuos de poda.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Relleno Sanitario

El relleno sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que pueden causar los líquidos y gases, producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Rondón et al., 2016, pp. 71-75).

Este método consiste en depositar en el suelo los desechos sólidos, los cuales se esparcen y compactan reduciéndolos al menor volumen posible para que así ocupen un área pequeña. Luego se cubren con una capa de tierra y se compactan nuevamente al terminar el día (Ministerio de Salud, 1997).

##### *1.1.1. Características de un relleno sanitario.*

Para describirlo al relleno sanitario se pueden considerar las siguientes características:

- El almacenamiento se realiza de tal forma que evitan molestias y riesgos para la salud pública así como la degradación del medio ambiente.
- El terreno dedicado a vertedero está perfectamente delimitado y cercado, existe un control de accesos, de vehículos y personal.
- No se quema residuo, ni se producen malos olores, la basura está totalmente cubierta. No hay gente escarbando los desechos, existen drenajes de interceptación de aguas superficiales y control sanitario.
- Si tiene las obras de ingeniería adecuadas para el control ambiental de las emisiones de gases, del control y tratamiento de lixiviados, si es que son necesarios, si cuenta con programas de monitoreo ambiental, y si tiene planes de clausura y post-clausura.
- Un aspecto importante para remarcar es que los enterramientos sanitarios posibilitan métodos más complejos de tratamiento y llevan a cabo acciones correctivas en caso de contaminación de las napas, cursos de aguas y/o suelos (Rondón et al., 2016, pp. 71-75).

### 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; éstos generan efectos dañinos en el medio ambiente como la proliferación de plagas, toxicidad en cultivos, contaminación atmosférica, propagación de enfermedades y problemas paisajísticos. Para su manejo, existen varios métodos como son el relleno sanitario y los botaderos a cielo abierto (Careaga, 2017) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15)

## 1.2 Tipos de rellenos sanitarios

En relación con la disposición final de residuos sólidos, es posible proponer tres tipos de rellenos sanitarios: el relleno sanitario mecanizado, el semi-mecanizado, y el relleno sanitario manual. A continuación se describirán cada uno de ellos (Rondón et al., 2016, pp. 71-75).

**Tabla 1-1.** Tipos de rellenos sanitarios

<b>Tipo de Relleno Sanitario</b>	<b>Residuos Sólidos urbanos Ingresados (Ton/día)</b>	<b>Tipo de Municipio</b>
Mecanizado	>40	Urbano
Semi-mecanizado	16 a 40	Urbano y semirural
Manual	<15	Rural

Fuente: (Rondón et al., 2016, pp. 71-75).

Realizado por: Cando, R. 2022.

## 1.2. Residuo

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2014, define como residuo a: *“Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido o semisólido, resultante del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado”* (INEN, 2014, pp.2-3).

## 1.3. Residuos orgánicos

Son residuos orgánicos aquellos materiales sólidos que son capaces de desintegrarse con facilidad y de una marea rápida. Son residuos biodegradables (se caracterizan porque pueden descomponerse naturalmente y tienen la característica de poder transformarse o degradarse

rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, sus cáscaras, carne, huevos, etc (INEN, 2014, pp.2-3).

#### **1.4. Residuos reciclables**

Residuos reciclables son aquellos materiales sólidos que pueden ser recuperados, reutilizados o transformados. Residuo sólido susceptible a ser aprovechado, transformado mediante procesos que devuelven a los materiales su potencialidad de reincorporación como energía o materia prima para la fabricación de nuevos productos (INEN, 2014, pp.2-3).

#### **1.5. Residuos no reciclables**

Residuos no reciclables son materiales sólidos inertes que no son capaces de ser utilizados como materia prima para la producción de nuevos productos. Equivalente a desecho. Residuo sólido no susceptible a ser aprovechado, transformado mediante procesos que devuelven a los materiales su potencialidad de reincorporación como energía o materia prima para la fabricación de nuevos productos cuyo material no puede ser sometido a procesos de transformación para la elaboración de nuevos productos (INEN, 2014, pp.2-3).

#### **1.6. Residuo peligroso**

Pueden afectar la salud humana, animal y ambiental, no pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de otro producto. Los residuo sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico – infecciosas, explosivas y/o radioactivas o explosivas (código C.R.E.T.I.B.), que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales aplicables; y, Residuos que, posterior a un proceso controlado de limpieza pueden ser transformados en residuos especiales (INEN, 2014, pp.2-3).

#### **1.7. Residuo no peligroso**

Residuos no peligrosos son materiales que no tienen algún valor para los que los generan, pero pueden servir o ser aprovechados como materia prima para la elaboración de algún producto. Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido, que no presenta características de peligrosidad con base en características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico - infecciosas explosivas y/o radioactivas o explosivas (código C.R.E.T.I.B.), resultantes del

consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado (INEN, 2014, pp.2-3)

### **1.8. Residuos especiales**

Residuos especiales son materiales no exactamente peligrosos, pero por su gran cantidad pueden afectar al medio e incluso al hombre, por lo que es recomendable que sean recuperados, reutilizados o reciclados, minimizando el porcentaje de estos restos.

Aquellos residuos que se encuentran determinados en el listado Nacional de Desechos Especiales, lo que implica que la regularización ambiental para su gestión, transporte, almacenamiento y disposición final serán regulados de acuerdo a los lineamientos técnicos específicos establecidos en base a la legislación ambiental vigente; que sin ser necesariamente peligrosos, por su naturaleza, pueden impactar el entorno ambiental o la salud, debido al volumen de generación y/o difícil degradación y para los cuales se debe implementar un sistema de recuperación, reutilización y/o reciclaje con el fin de reducir la cantidad de residuos (INEN, 2014, pp.2-3).

### **1.9. Rellenos como componentes de la gestión integral de RSU**

Se pretende proyectar un adecuado trabajo de los residuos para poder dar un mejor tratamiento a los mismos; para exista disminución de los residuos, dar tratamientos a los residuos y además de planificar y controlar el fin que tiene el residuo. 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, biogásificación, 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) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

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) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

### **1.10. 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. La gestión integral de residuos implica una jerarquización de fases específicas como: minimización en la fuente, valorización y su aprovechamiento, transformación del residuo sólido, etapa concluyente y clausura (Castro, 2016, p. 31) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

#### **1.10.1. *Minimización en la fuente.***

La minimización en la fuente está situada en la primera fase jerárquica debido a la reducción de los 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 (Careaga, 2017,) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

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 ) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

#### **1.10.2. *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) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).En consecuencia, la primera acción sobre los residuos generados es valorarlos y aprovecharlos.

La mayor parte de los residuos generados en la transformación de los vegetales se destina a la alimentación de ganado. A su vez, 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 (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

### ***1.10.3. 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. En los residuos que no son aprovechables, se aplican tratamientos para mitigar su peligrosidad (Echarri, 2015) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

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 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 su coste (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15)

### ***1.10.4. Etapa concluyente del residuo y clausura***

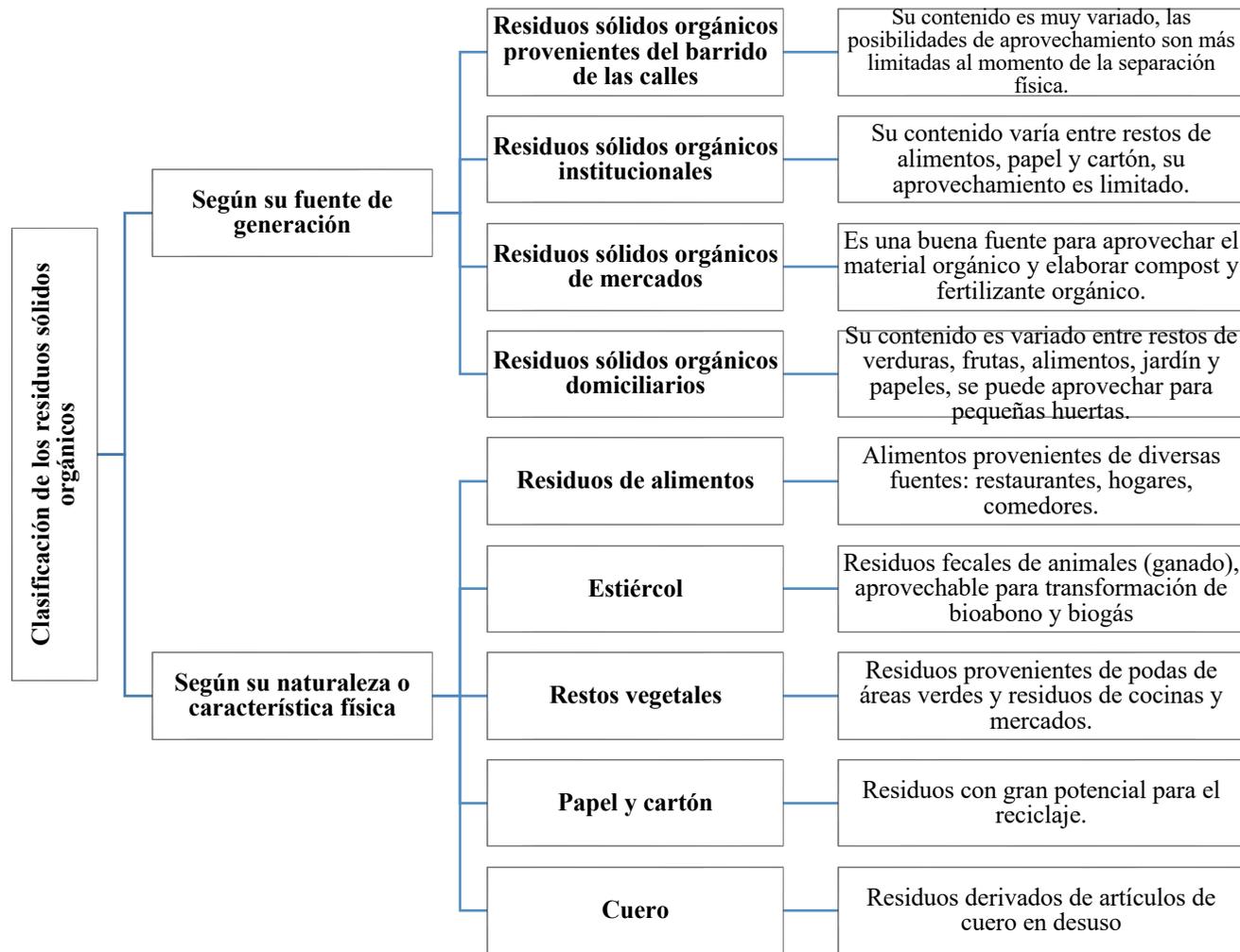
El tratamiento de los desechos sólidos se especifica como el conjunto de operaciones físicas, químicas, térmicas o biológicas, que tiene la finalidad de reutilizar los desechos, disminuir o eliminar su potencial peligro, o adaptar sus propiedades físicas, químicas o biológicas a los requerimientos de su disposición final. Por otra parte, la disposición final de los desechos sólidos es la operación controlada y ambientalmente adecuada del manejo de los desechos para la conservación de fuentes naturales (Campos, 2015) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

## **1.11. Residuos sólidos orgánicos**

Se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos (AME, 2020, p.14).

### ***1.11.1. Clasificación de los residuos sólidos orgánicos***

Existen varias formas para la clasificación de los residuos sólidos orgánicos, entre ellas tenemos: su fuente de generación y su naturaleza o características físicas (Jaramillo, & Zapata, 2008, pp.25-43).



**Gráfico 1-1.** Clasificación de los residuos sólidos orgánicos

Realizado por: (Cando, R. 2022).

### **1.12. Abono orgánico**

Es el producto que se obtiene de la descomposición de materiales orgánicos, con la finalidad de acrecentar la fertilidad de suelos pobres, y obtención de cultivos con los nutrientes esenciales para un buen crecimiento dando buen valor nutricional a las plantas.

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

### **1.13. Compostaje**

El compostaje es un proceso de descomposición biológica, por vía aerobia, de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas. Las bacterias actuantes son termofílicas, desarrollándose el proceso a temperaturas comprendidas entre 50 y 70°C, lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto (Rondón et al., 2016, pp. 71-75).

### **1.14. Seguimiento del control de proceso de compostaje**

#### ***1.14.1. Volteo de compostaje***

Es indispensable realizar volteos para la obtención de un buen producto, tomando en cuenta dos parámetros muy importantes; la humedad y la temperatura, si existe déficit de agua el proceso va a tardar más tiempo, si la temperatura sobrepasa los 70 °C pueden morir los microorganismos benéficos que ayudan a la descomposición de los residuos orgánicos.

El volteo depende de las condiciones climáticas, de la humedad y del 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) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

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) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

La frecuencia de volteo puede estar determinada por temperatura, que es un indicador indirecto de la actividad microbiana (Tratamiento de Desechos Sólidos) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

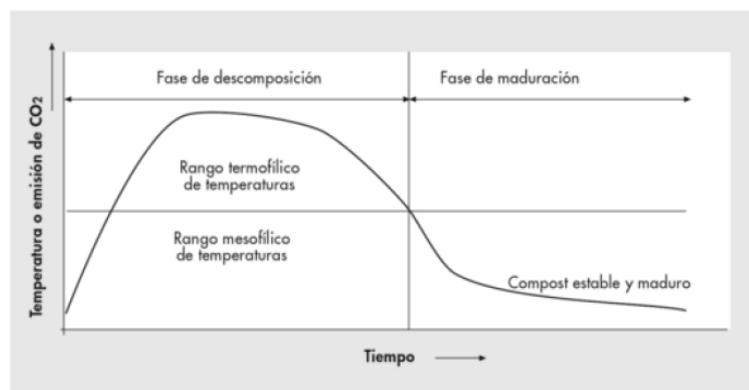
### 1.14.2. Monitoreo del compostaje

Al ser un proceso biológico llevado a cabo por diferentes microorganismos, se deben 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 (Manual de Compostaje del Agricultor.) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

Otros factores que son importantes para monitorear el proceso de compostaje incluyen el índice de germinación, el microbiota, tamaño de partícula, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, metales pesados, macro y micronutrientes (Alcolea, 2016) como se citó en (Tixe y Ruiz, 2018, pp. 9-15).

### 1.15. Fases del proceso de elaboración de compost.

El proceso está constituido por dos fases consecutivas: **descomposición y maduración** (Figura 1-2). En la primera, diferentes poblaciones de bacterias actinomicetos y hongos, trabajando de forma simultánea o consecutiva descomponen los constituyentes de la materia orgánica. En la etapa de maduración tienen lugar procesos de biopolimerización para formar moléculas complejas y estables (Elias, 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).



**Figura 1-1.** Fases del proceso del compost  
Realizado por: (Cando, R., 2022).

#### a) Etapa de descomposición

En esta etapa ocurre la degradación de la materia orgánica por la acción de los diferentes microorganismos aerobios (bacterias, hongos y actinomicetos) y la mesofauna asociada. Estas reacciones son exotérmicas y en dependencia de la temperatura generada, en esta fase se

distinguen tres etapas: Mesófila, termófila y de enfriamiento (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

- **Fase Mesófila**

Los microorganismos aerobios indígenas (bacterias, actinomicetos y hongos mesófilos) de los residuos en presencia de agua y oxígeno, comienzan a descomponer los compuestos orgánicos fácilmente degradables como carbohidratos, azúcares, lípidos, aminoácidos. Debido a la actividad metabólica de todos estos microorganismos la temperatura aumenta rápidamente hasta 40°C, el pH disminuye desde un valor neutro hasta 5,5-6 debido a la descomposición de lípidos y glúcidos en ácido pirúvico y de proteínas en aminoácidos, lo que favorece la aparición de hongos mesolíticos más tolerantes a las variaciones del pH y humedad (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

- **Fase Termófila**

Conforme aumenta la actividad microbiana la temperatura asciende, llegando a superar los 60°C. Las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos permanecen en estado de latencia mientras que las bacterias y actinomicetos termofílicos encuentran su óptimo, generando incluso más calor que los mesofílicos. La degradación de los ácidos obtenidos en la etapa anterior provoca el incremento del pH pasando desde 5,5 hasta 7,5 donde permanecerá casi constante hasta el final del proceso. El color del compost se pone más oscuro paulatinamente y el olor original se comienza a sustituir por el olor a tierra. Es en esta etapa cuando comienza la esterilización del residuo debido a las altas temperaturas, la mayoría de las semillas y patógenas como *E coli* mueren al estar sometido durante días a temperaturas superiores a 55°C (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

- **Fase de Enfriamiento**

En esta fase, la temperatura empieza a disminuir como consecuencia de la escasez de nutrientes y energía y los microorganismos mesófilos recolonizan el material. Estos dominarán el proceso hasta que toda la energía se utilizada (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

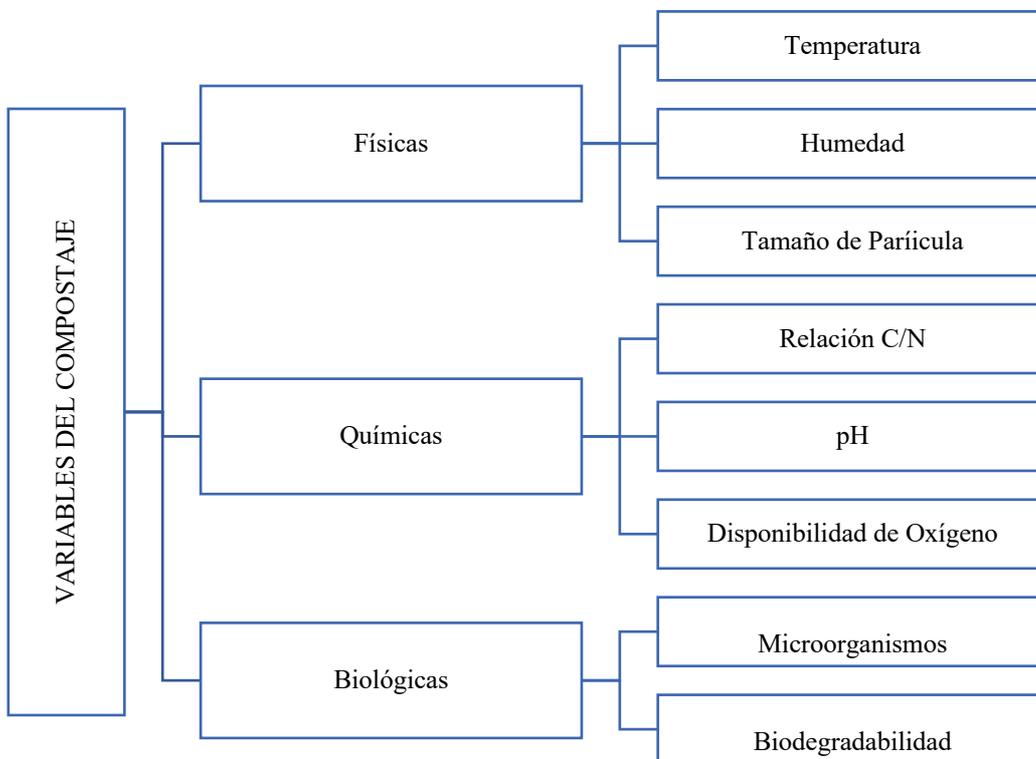
## **b) Fase de Maduración**

La temperatura y pH se estabilizan. Si el pH es ácido nos indica que el compost no está aún maduro, los actinomicetos adquieren especial importancia en la formación de ácidos húmicos y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y

patógenos, mientras que los microorganismos tales como nemátodos, rotíferos, escarabajos , lombrices, etc., incrementan su actividad desempeñando la función de remover excavar, moler masticar y en general romper físicamente los materiales incrementando el área superficial de estos para permitir el acceso de los microorganismos (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

### 1.16. Variables de control en el proceso de compostaje

Las variables que controlan el proceso de compostaje pueden clasificarse en:



**Gráfico 2-1.** Variables de control en el proceso de compostaje  
Realizado por: (Cando, R. 2022).

#### a) Variables Físicas

##### ▸ Temperatura

La temperatura es un factor clave en el proceso de compostaje, ya que de ella dependen los consorcios microbianos viables que realizan la degradación en cada momento, así como su actividad metabólica y crecimiento; afecta a la cinética de la degradación y determina la desinfección al final del proceso. Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre

la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. Así mismo, existe una relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta (Moreno et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

#### ▸ **Humedad**

El método más común para controlar la humedad en procesos de compostaje es la adición directa de agua. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la adición de agua enfría la pila debido a la evaporación y en algunos casos la adición directa de agua puede modificar la estructura del compost, reduciendo su porosidad y evitando por tanto que el proceso de compostaje se dé adecuadamente (Moreno et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

#### ▸ **Tamaño de Partícula, porosidad, espacio de aire libre**

El tamaño inicial de las partículas que componen la masa a compostar es una importante variable para la optimización del proceso, ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción. Las dimensiones consideradas óptimas son distintas según los criterios de distintos autores, variando entre 1 y 5. (Bueno et al., 2008, pp. 3-7)

La porosidad suele definirse como el espacio libre entre las partículas sólidas, es importante por una serie de aspectos: los poros proveen el sistema de conductos a través de los cuales se transportan los nutrientes, permiten el crecimiento de los microorganismos y sirven para almacenar la humedad (Chica et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

El espacio de aire libre puede definirse como el porcentaje de los poros ocupados por la fase gas. Cuando el espacio de aire libre es muy reducido se pueden producir limitaciones por falta de oxígeno o en la transferencia de oxígeno a la capa líquida en la que se da el proceso de compostaje, lo que reduciría la velocidad y la eficacia del proceso. Para controlar la porosidad y el espacio de aire libre en sistemas de compostaje se recurre a la adición de enmiendas o agentes estructurantes (Chica et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

### **b) Variables Químicas**

#### ▸ **Relación C/N**

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte de C y de N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de

C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Jhorar y col, 1991) como se citó en (Bueno et al., 2008, pp. 3-7).

La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos. Para eliminar el exceso de carbono (en forma de anhídrido carbónico) es necesaria la aparición sucesiva de diversas especies microbianas. Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. Si el residuo tiene una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso evolucionará rápidamente, pero afectará sólo a una proporción de la masa total. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso (Bueno et al., 2008, pp. 3-7).

#### ▸ **pH**

El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. En muchos trabajos se usa esta variable para estudiar la evolución del compostaje. Sin embargo, su medida, que se realiza en el laboratorio sobre el extracto acuoso de las muestras tomadas en las pilas, es sólo una aproximación del pH “in situ” (Sundberg y col, 2004). Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH (Bueno et al., 2008, pp. 3-7)

#### ▸ **Disponibilidad de Oxígeno**

La aireación debe ser controlada en el proceso de compostaje, para asegurar, en primer lugar, que se cubre la demanda de oxígeno para la descomposición microbiológica de la materia orgánica; en segundo lugar, debe ser suficiente para eliminar el exceso de humedad; y en tercer lugar, la aireación debe permitir la disipación del calor generado por la descomposición, ya que de no controlarse la temperatura de la masa, podría alcanzar valores tales que limitaran la actividad microbiológica (Chica et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar

entre 0,5 y 2 % (Ekinici y col., 2004) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28). Durante el proceso de maduración no debe haber aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podrá dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos (Lisaridi, 1998) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

### **c) Variables Biológicas**

#### **▸ Microorganismos**

En el proceso de compostaje, una multitud de distintas poblaciones de microorganismos entre los que destacan bacterias, actinomicetos, mohos, e incluso levaduras, se suceden en función de las condiciones de pH y temperatura que se da a lo largo del proceso. La mayor parte de los residuos de naturaleza orgánica presentan todas estas poblaciones, facilitando, con ello, el proceso de compostaje. Los microorganismos que realizan el proceso de compostaje son quimio heterótrofos, lo que significa que utilizan sustratos orgánicos como fuente de carbono y de energía en presencia de oxígeno (Moreno et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

#### **▸ Biodegradabilidad**

La biodegradación de un sustrato orgánico durante el proceso de compostaje consiste en su transformación en formas más oxidadas, en el límite se llegaría a la mineralización, por acción de microorganismos, en condiciones aerobias. En todo residuo orgánico hay una parte no orgánica y una parte de materia orgánica y de Carbono total), que suele estar en formas muy estables e incluso no degradables por compostaje. Así pues, la biodegradabilidad depende de la naturaleza del sustrato, variando de un modo muy significativo de unos sustratos a otros. La biodegradabilidad es un parámetro muy importante en el compostaje, ya que, al igual que en cualquier otro bioproceso, condicionará la cinética, la cantidad de energía liberada en forma de calor y por tanto la temperatura alcanzada, lo que vuelve a influir sobre la cinética del proceso (Chica et al., 2015) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

## **1.17. Sistemas de compostaje**

### **Sistema abierto**

En este sistema las pilas de compostaje se disponen al aire libre. El material para compostar se coloca en pilas de 1,5 m de largo y 1,5 m de ancho aproximadamente. Es importante tomar en cuenta el sitio donde se va a armar la pila, ya que durante los volteos se requiere espacio. El volteo

ayuda a homogenizar los componentes de la pila, a suministrar oxígeno indispensable para el desarrollo de los microorganismos aerobios, a dispersar la humedad en caso de que ésta sea excesiva y a controlar que la temperatura no sobrepase los 65-70°C. En este sistema el nivel de oxigenación es menor que en los sistemas con ventilación (Galea, 2017) como se citó en (Auquilla, 2019, pp.13-15)

- **Pila estática**

Los elementos para compostar se amontonan y pueden ser colocados en el suelo o en el pavimento formando. Este sistema es más económico y relativamente sencillo ya que una vez armada la pila no se moverá del sitio. El aporte de oxígeno se realiza mediante succión o insuflado (Galea, 2017) como se citó en (Auquilla, 2019, pp.13-15).

- **Sistemas cerrados**

En estos sistemas cerrados, los diferentes materiales a compostar no están nunca en contacto directo con el exterior, sino a través de un sistema de conductos y turbinas, además los sistemas cerrados ayudan a mantener un mayor control del proceso. En general son dispositivos con elevados costos de inversión y pueden de tipo ser vertical u horizontal (Gavilaez, 2016) como se citó en (Auquilla, 2019, pp.13-15).

### **1.18. Transformación en compost**

El compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillos. La operación de este sistema es muy fácil. Después de haber separado todo material no biodegradable de lo biodegradable, el material se coloca en pilas triangulares (Cabrera, 2016, pp. 18-19).

El tamaño de las pilas es muy importante para el proceso de compostaje. No debe superar cierto máximo, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una “masa crítica” mínima de 50-100 kg de residuos biodegradable. Con esa masa, ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exotérmica del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienización del material (Roben, 2016, p. 26).

Para conseguir un buen compost se recomienda utilizar insumos diversificados, tanto de origen vegetal (restos de cocina, rastrojos), animal (estiércol), ya que los de origen vegetal tienen más carbono y el estiércol contiene más nitrógeno (Altamirano & Cabrera, 2016) como se citó en (Cabrera, 2016, pp. 18-19).

### **1.19. Macronutrientes N, P y K**

El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de N. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Bueno et al., 2008, pp. 3-7).

El potasio es el tercero de tres macronutrientes primarios (junto al N y al P) esencial para las plantas, el cual es absorbido por las mismas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Calcio. Además, es el responsable de modificar varios parámetros relacionados con la calidad de los cultivos y plantas (Fertibox, 2019).

### **1.20. Beneficios del compost**

Entre los beneficios del compost se tienen los siguientes:

- Es un mejorador de suelo que crea condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas para el desarrollo de microorganismos benéficos descomponedores y fijadores de nutrientes.
- Aporta macro, micronutrientes y minerales a corto mediano y largo plazo, a diferencia de los fertilizantes inorgánicos que contribuyen con nutrientes a corto plazo.
- Adiciona materia orgánica, que mejora la retención y drenaje de agua del suelo, además le proporciona porosidad permitiendo el paso libre de agua y oxígeno.
- Incrementa la cantidad de nutrientes y microorganismos del suelo, logrando mejorar o reconstituir su ecosistema.
- Permite dar valor agregado a los residuos orgánicos, transformándolos en abono.
- Disminuye la cantidad de materia orgánica que termina en los sitios de disposición final, aumentando la vida útil de los mismos.
- Disminuye la cantidad de lixiviados y de malos olores que se generan en los rellenos sanitarios.
- Reduce la emisión de metano en los sitios de disposición final, el cual es generado debido a la descomposición de la materia orgánica (AME, 2020, p.14).

### **1.21. Aspectos legales**

La (Constitución Política del Ecuador, 2008), Registro Oficial N°449, 20/10/2008, construye una nueva forma de convivencia ciudadana, en armonía con la naturaleza para alcanzar el buen vivir sumak kawsay. En el Plan Nacional del Buen Vivir Registro Oficial N°. CNP-002-2013, Título V. Capítulo Cuarto. Art. 264, se regula las actividades humanas en todo ámbito e incluye temas relacionados con la protección del ambiente reconociendo, por primera vez, los derechos de la

naturaleza orientada a garantizar la sostenibilidad y el “buen vivir” de la población (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013)

El (Acuerdo N° 061 del Ministerio del Ambiente, 2015), reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, que trata sobre la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Registro Oficial Suplemento 418. Esta norma consta de siete Títulos y siete Anexos. En su Anexo VI, se describe la Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición final de los desechos Sólidos no peligrosos.

El (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2013), promulga el Acuerdo Ministerial No. 299, Resolución N°99, emitida el 30 de septiembre de 2013. Por medio del cual expide el instructivo de la normativa general para Promover y Regular la Producción Orgánica – Ecológica – Biológica en el Ecuador.

**Capítulo III: PRODUCCIÓN VEGETAL ORGÁNICA,** (Artículo 18. De la fertilidad del suelo y nutrición de las plantas. Podrán utilizarse fertilizantes y acondicionadores en el suelo que hayan sido verificados para su posterior aplicación en la producción orgánica. Los minerales nitrogenados no serán utilizados. Él (Ministerio de Ambiente, 2021) 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 con lo establecido en el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). De acuerdo con la (Constitución Política del Ecuador, 2008), 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 30 de abril de 2019, el Consejo del Municipio de Riobamba expidió la Ordenanza que regula la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el cantón Riobamba, que permita normar la gestión integral de los residuos sólidos del cantón Riobamba, con el apoyo y cooperación de toda la ciudadanía, sean ellos residentes habituales, temporales u ocasionales el objetivo de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y buenas condiciones ambientales con participación ciudadana (GAD MUNICIPAL RIOBAMBA, 2019, pp. 3-24) .

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. (GAD MUNICIPAL RIOBAMBA, 2019, pp. 3-24) .

### ***1.21.1 Marco Legal implementable en el uso agrícola del compost.***

En el caso del Ecuador según el Acuerdo Ministerial N° 299, Registro oficial N°34 del 11 de Julio de 2013 de la Normativa General para promover y regular la producción Orgánica – Ecológica – Biológica expedida por (Agrocalidad, 2013), en el Art. 19 menciona que el productor que deba implantar una rotación de cultivos debe contemplar que estos incluyan pero no se limite a los cultivos de cobertura, abono verde, y cultivos que cumplan con los siguientes principios: a) Mantener o mejorar el contenido de la materia orgánica del suelo. Contribuir a minimizar la incidencia de plagas en cosechas anuales o perennes; c) Manejar nutrientes para la vida vegetal deficientes o en exceso; y d) Proveer control para la erosión. e) Conservar la humedad del suelo. De acuerdo (Unión Europea, 2005, pp3 62-63) clasifica la calidad el compost en clase A, clase B y clase C:

**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, cuyo contenido en metales pesados no debe superar el 0,70 mg/kg en el Cd, 70 mg/kg en el Cu, 25 mg/kg en el Ni, 45 mg/kg en el Pb, 200 mg/kg en el Zn, 0,4 mg/kg en el Cr (Unión Europea, 2005, pp3 62-63).

**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. En este tipo de compost no podrán superar el contenido de metales pesados 2 mg/kg en el Cd, 300 mg/kg en el Cu, 90 mg/kg en el Ni, 150 mg/kg en el Pb, 500 mg/kg en el Zn, 1,5 mg/kg en el Hg y 250 mg/kg en el Cr (Unión Europea, 2005, pp3 62-63).

**Compost Clase C:** es toda materia orgánica que ha sufrido cambios en las etapas mesofílica y termofílica 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. Los metales pesados en este tipo de compost no podrán sobrepasar en el Cd 3 mg/kg, 400 mg/kg en el Cu, 100 mg/kg en el Ni, 200 mg/kg en el Pb, 1000 mg/kg en el Zn, 2,5 mg/kg en el Hg y 300 mg/kg en el Cr (Unión Europea, 2005, pp3 62-63).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Población de estudio

- Residuos orgánicos generados en mercado mayorista San Pedro de Riobamba de la ciudad de Riobamba.
- Residuos de poda de parques y avenidas de Riobamba.
- Relleno sanitario Porlón.

#### 2.2. Tamaño de muestra

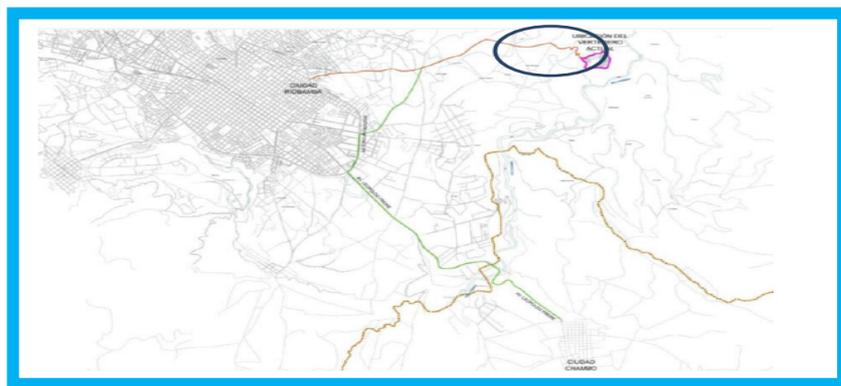
Para realizar los análisis iniciales se recogió una muestra compuesta de dos kilogramos utilizando el método del cuarteo. Se trabajó con doce muestras obtenidas a lo largo del proceso.

#### 2.3. Selección de muestra

Cada 15 días, se tomaron muestras de varios puntos de la pila, hasta obtener 2 Kg por el método del cuarteo. Para realizar los diferentes análisis de laboratorio. Todos los análisis se realizaron sobre base seca.

#### 2.4. Lugar de estudio

Los residuos del mercado mayorista San Pedro de Riobamba de la provincia de Chimborazo fueron depositados y compostados en un lugar destinado en el Relleno Sanitario de Porlón. En la figura 3-2 se presenta el mapa de ubicación del vertedero de Porlón.



**Figura 3-2.** Mapa de ubicación del vertedero de Porlón  
Fuente: Google maps.

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

### ***2.5.1. Tipo de Investigación***

De acuerdo con el tema EFECTO DEL AGENTE ESTRUCTURANTE (PODA) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL MERCADO MAYORISTA SAN PEDRO DE RIOBAMBA, el proyecto es de tipo técnico y según el objetivo la investigación es de tipo mixto.

### ***2.5.2. Diseño de la investigación***

El compostaje es una de las opciones con mayor aplicación para el aprovechamiento de biorresiduos, clasificándose como mixta ya que se usará el método tanto cualitativo como cuantitativo por el análisis de la calidad fisicoquímica de los sustratos, la evaluación de opciones para mejorar el proceso y la calidad del producto, el desarrollo de herramientas para la planeación y operación de las instalaciones de compostaje.

## **2.6. Técnicas experimentales**

### ***2.6.1. Recolección y transporte de los residuos orgánicos***

Los residuos sólidos orgánicos fueron recogidos en el mercado mayorista San Pedro de Riobamba y transportados al relleno sanitario de Porlón. Se colocaron sobre una geomembrana en la plataforma de compostaje, en mezcla con poda como agente estructurante. Se formaron tres pilas con distintas relaciones de Carbono Nitrógeno (C/N). La poda provino de los parques y jardines de la ciudad de Riobamba.

### ***2.6.2. Montaje de pilas***

Se formaron tres pilas con distintas relaciones C/N:

- Pila 1: (3:1) 8800 Kg de residuos de mercado + 1800 Kg de poda
- Pila 2: (6:1) 8000 Kg de residuos de mercado + 1300 Kg de poda
- Pila 3: (9:1) 3600 Kg de residuos de mercado + 400 Kg de poda

Con la ayuda de una mini cargadora, se colocaron los residuos en capas de aproximadamente 30cm, formando una pila trapezoidal.

### 2.6.3. Control del proceso

Se registró la temperatura y la humedad de las pilas tres veces por semana, para controlar la evolución del proceso. El volteo se realizó con la ayuda de una mini cargadora, lo que ayudó a homogenizar la mezcla. La humedad se registró con un higrómetro y cuando ésta bajó se añadió agua con la ayuda de una manguera.

A lo largo del proceso se identificaron las fases termófilas, mesófilas y de enfriamiento. Cuando la temperatura se aproximó a la del ambiente, empezó la etapa de maduración, para lo cual se bajaron las pilas a una altura de 50 cm. El tiempo de maduración fue de 60 días.

Finalmente, el compost fue tamizado. Las muestras tomadas fueron colocadas en fundas Ziploc etiquetadas y se secaron en una estufa a 105°C hasta peso constante.

Los análisis físico-químicos, químicos y biológicos se realizaron en los laboratorios de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.7. Materiales y Equipos

En la Tabla 3-2. Se detallan los materiales y equipos utilizados a lo largo del proceso.

**Tabla 3-2.** Materiales y equipos en el trabajo de campo

<b>Materiales</b>	Mandil
	Botas
	Mascarilla
	Guantes
	Rastrillo
	Pala
	Escoba
	Saquillos
	Carretilla
	Fundas plásticas
<b>Maquinaria/instrumentos y equipos</b>	Mini cargadora
	Báscula
	Termómetro
	Higrómetro

**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón

**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

**Tabla 4-2.** Materiales y equipos de laboratorio

<b>Parámetros preparación de la muestra</b>	
<b>Materiales</b>	Mandil
	Mascarillas
	Guantes
	Muestras de compost
	Frascos de plástico estéril
	Bandejas
	Espátula
<b>Instrumentos y/o equipos</b>	Estufa
	Molino
	Balanza analítica

**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

**Tabla 5-2.** Parámetros Físico-químicos

<b>Materiales</b>	Agua destilada
	Muestras de compost
	Vasos de precipitación de 250 ml
	Papel filtro
<b>Instrumentos y/o equipos</b>	Agitador
	pHmetro
	Conductímetro
	Centrifuga
	Balanza analítica

**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

**Tabla 6-2.** Parámetros químicos

<b>Materiales</b>	Muestras de compost
	Crisoles
	Pinzas para crisoles
<b>Instrumentos y/o equipos</b>	Mufla
	Balanza analítica
	Desecador
	Espectrofotómetro
	Estufa
	Equipo Kjendal

**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

**Tabla 7-2.** Parámetros biológicos

<b>Materiales</b>	Muestras de compost
	Cajas Petri
	Semillas de berro ( <i>Lepidium sativum</i> L.)
	Papel aluminio
<b>Instrumentos y/o equipos</b>	Balanza analítica
	Pie de rey
	Estufa
	Desecador

**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón

**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización fisicoquímica y química de la muestra inicial

**Tabla 8-3.** Caracterización fisicoquímica y química de la muestra inicial

PARÁMETROS	Materia prima		
	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Nitrógeno Total NT (%)	0,99	1,26	1,71
Materia Orgánica (%)	80,19	81,61	82,97
Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,51	1,06	0,89
Potasio K <sub>2</sub> O (%)	0,92	1,15	1,00
Humedad (%)	70	70	70
Conductividad Eléctrica (dScm <sup>-1</sup> )	4,21	3,81	4,14
Potencial de Hidrógeno (pH)	4,24	4,21	5,01

Fuente: (Moreno et al., 2015)

Realizado por: (Cando, R. 2022).

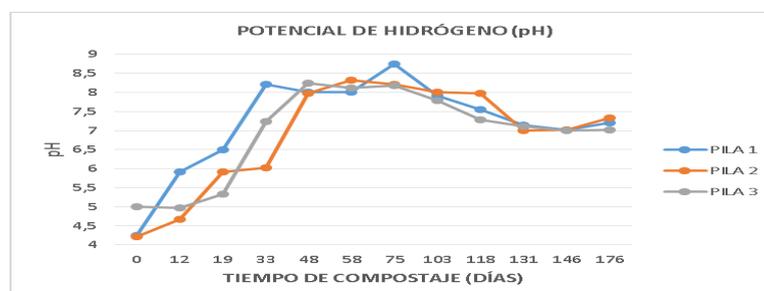
En la tabla 8-3 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos y químicos de las tres pilas una vez formadas.

Los resultados obtenidos de materia orgánica y macronutrientes son valores admisibles para empezar métodos de compostaje. Estos resultados son equivalentes a los reportados en literatura.

#### 3.2. Parámetros de control del proceso de compostaje

##### 3.2.1. Parámetros físicos químicos

##### 3.2.1.1. Potencial de hidrógeno



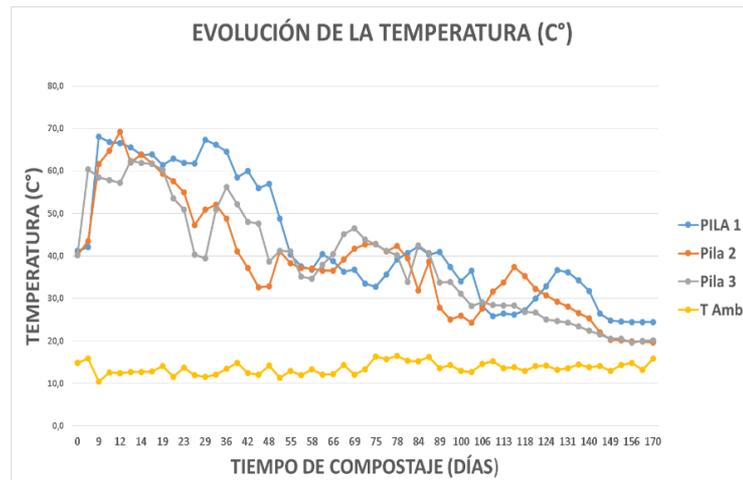
**Gráfico 1-3.** Evolución del Potencial de hidrógeno (pH)

Realizado por: (Cando, R. 2022).

En el gráfico 1-3, se evidenció que al inicio del proceso de compostaje los pH de las pilas son ácidos esto, posiblemente se deba, a la presencia de frutos cítricos entre los residuos de mercado.

Entre los 2 y 3 meses, los valores fueron ligeramente básicos, pues al degradarse la materia orgánica se generan iones amonio. Al final del proceso, las muestras presentaron valores cercanos a la neutralidad (P1: 7,2; P2: 7,33 y P3: 7,01). Estos datos concuerdan con investigaciones similares de compostaje de residuos de mercado (Jara, 2016, p. 26-34) y están dentro de los parámetros establecidos por la norma según la (US Composting Council, 2001).

### 3.2.1.2. Temperatura



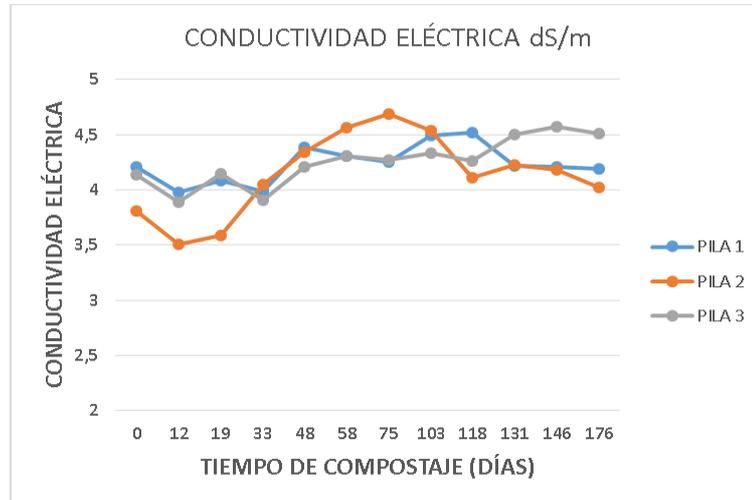
**Gráfico 2-3.** Evolución de la temperatura  
Realizado por: (Cando, R. 2022).

En la gráfica 2-3 se observa la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje. Las temperaturas más altas ((P1:68,1; P2: 61,6; P3:60,4) °C) se alcanzaron durante los primeros 30 días, debido a que los microorganismos aerobios propios de los residuos, en presencia de agua y oxígeno, comienzan a descomponer los compuestos orgánicos como carbohidratos, azúcares, lípidos, aminoácidos aumentando la temperatura (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28). Esta etapa es importante

Las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos permanecen en estado de latencia mientras que las bacterias y actinomicetos termofílicos encuentran su óptimo, generando incluso más calor que los mesofílicos. Es en esta etapa cuando comienza la esterilización del residuo debido a las altas temperaturas, pues la mayoría de las semillas y patógenos como *E. coli* mueren al estar sometidos durante días a temperaturas superiores a 55°C” (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28).

A partir de los 130 días, las temperaturas empiezan a bajar gradualmente hasta llegar a la etapa de maduración con temperaturas cercanas al ambiente. Esto se debe a la escasez de nutrientes en la masa compostada, con lo que los microorganismos mesófilos recolonizan el material. Estos dominarán el proceso hasta que toda la energía sea utilizada (Navarro, & Navarro, 2014) como se citó en (Jara, 2016, pp. 19-28). Por otra parte, la pila 3 presentó la temperatura más baja, posiblemente a que es la pila más pequeña.

### 3.2.1.3. Conductividad Eléctrica CE

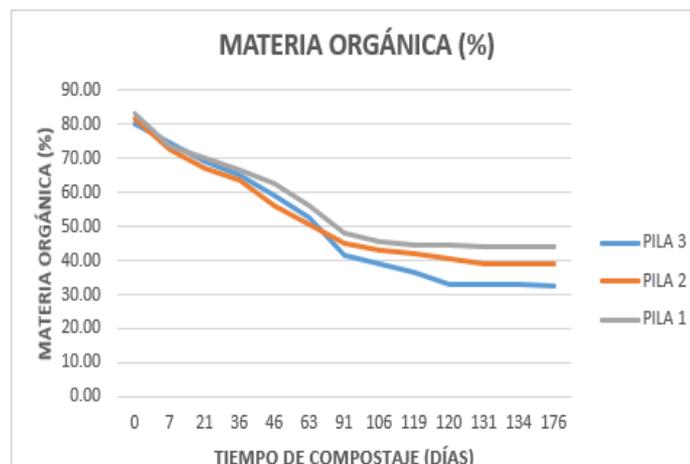


**Gráfico 3-3.** Conductividad Eléctrica CE  
Realizado por: (Cando, R. 2022).

La conductividad eléctrica es un parámetro que define la presencia de sales orgánicas. Como se puede apreciar en el gráfico 3-3, las 3 pilas presentan valores inferiores a  $6 \text{ dSm}^{-1}$ , con lo que cumplen con los parámetros establecidos en la normativa europea (US Composting Council, 2001).

### 3.2.2. Parámetros químicos

#### 3.2.2.1. Materia orgánica MO



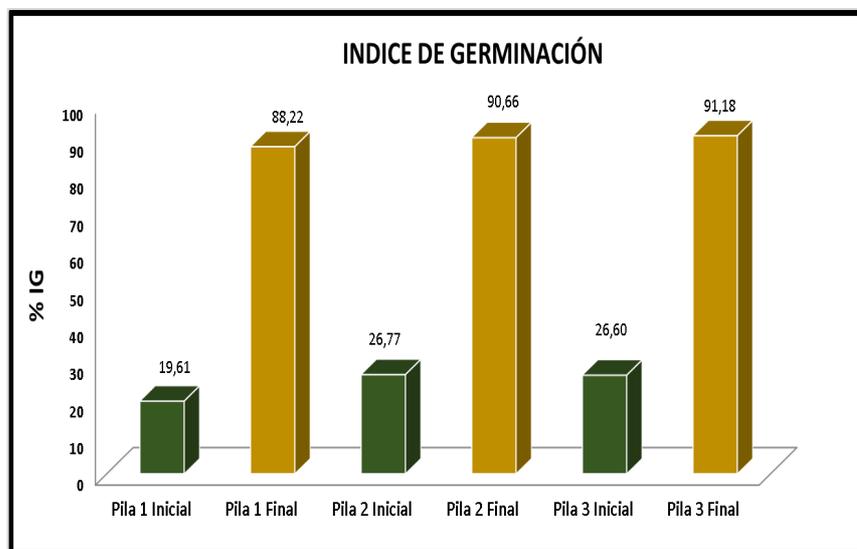
**Gráfico 4-3.** Materia orgánica MO (%)  
Realizado por: (Cando, R. 2022).

En el proceso de compostaje, en los 3 tratamientos se evidenció un descenso de los porcentajes de materia orgánica, principalmente en la fase termófila en donde la actividad microbiana es más alta. En la fase de maduración se evidenció una pérdida menor para dar paso a la estabilización

de la materia orgánica y a un compost maduro. La materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico (Bueno et al., 2008, pp. 3-7). Comparando los tratamientos, se observó que en la pila 3 la pérdida fue mayor debido a la presencia de más proporción de residuos de mercado en comparación con los de poda. Los residuos de mercado presentan una mayor biodegradabilidad con respecto a la poda, pues esta última es rica en lignina, celulosa y hemicelulosa relativamente poco biodegradables.

### 3.2.3. *Parámetros Biológicos*

#### 3.2.3.1. *Índice de Germinación*



**Gráfico 5-3. Índice de Germinación**  
Realizado por: (Cando, R. 2022).

Los porcentajes del Índice de Germinación de la mezcla inicial son bajos debido a que la materia orgánica no ha sufrido tratamiento alguno, lo que indica que no se debe utilizar directamente en los cultivos por la presencia de sustancias fitotóxicas. Después de terminado el tratamiento de compostaje se mostraron valores superiores al 88% lo que indica que el compost está apto para ser utilizado directamente en los suelos como enmienda orgánica, pues compost con índices de germinación superiores a 80% indican que el material no presenta toxicidad. Índices entre 50% y 80% indican que el material es levemente tóxico y se podrían utilizar en mezcla con materiales no tóxicos. Índices de germinación inferiores al 50% indican que el material es tóxico para las plantas (Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost.) como se citó en (Jara, 2016, p. 36.).

### 3.3. **Evaluación de la calidad del compost**

**Tabla 9-3.** Evaluación de la calidad del compost

Parámetros Fisicoquímicos					Norma	Norma
	Tratamiento	pila 1	pila 2	pila 3	NCh 2880	US guidelines
pH	<b>Inicial</b>	4,24	4,21	5,01	5,0-8,5	6 a 8
	<b>Final</b>	7,21	7,33	7,01		
CE dSm	<b>Inicial</b>	4,21	3,81	4,14	<3-<8	6
	<b>Final</b>	4,19	4,02	4,51		
Parámetros Químicos						
%MO	<b>Inicial</b>	80,19	81,61	82,97	≥20	50-60
	<b>Final</b>	32,33	39,01	44,21		
%NT	<b>Inicial</b>	0,99	1,26	1,71	≥ 0,5	≥ 1,0
	<b>Final</b>	1,08	1,44	1,8		
%P	<b>Inicial</b>	0,51	1,06	0,89		≥ 1,0
	<b>Final</b>	1,01	1,16	1,03		
%K	<b>Inicial</b>	0,92	1,15	1		
	<b>Final</b>	1,07	1,15	1,31		
Parámetros Biológicos					Norma	Norma
	Tratamiento	pila 1	pila 2	pila 3		
IG	<b>Inicial</b>	19,61	26,77	26,6		
	<b>Final</b>	88,22	90,66	91,18		

Fuente: NCh 2880, US guidelines  
 Realizado por: (Cando, R. 2022).

Los porcentajes de los macronutrientes: N, P, K en los compost en todos los casos son superiores al 1% cumpliendo lo establecido tanto en la norma nacional como en la mayoría de las normas internacionales. Estos porcentajes aumentan debido al proceso de mineralización que sufren los residuos orgánicos al ser biodegradados.

### 3.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico informático SPSS y como método estadístico para examinar las diferencias en las medias de tres o más grupos se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor, con un 95%. Por otro lado, para determinar qué medias son diferentes se utilizó el método de Tukey. A continuación, se exponen los resultados del análisis estadístico:

**Tabla 10-3.** ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Decisión	Conclusión
<b>MO</b>	Inter-g	242,471	2	121,235	,510	,605	p>0,05 Se acepta Ho	Medias son iguales
	Intra-g	8554,828	36	237,634				
	Total	8797,298	38					
<b>pH</b>	Inter-g	,634	2	,317	,213	,809	p>0,05 Se acepta Ho	Medias son iguales
	Intra-g	53,673	36	1,491				
	Total	54,307	38					
<b>CE</b>	Inter-g	,928	2	,464	,882	,423	p>0,05 Se acepta Ho	Medias son iguales
	Intra-g	18,949	36	,526				
	Total	19,878	38					
<b>IG</b>	Inter-g	718,671	2	359,335	,754	,478	p>0,05 Se acepta Ho	Medias son iguales
	Intra-g	17164,764	36	476,799				
	Total	17883,435	38					
<b>N</b>	Inter-g	7,352	2	3,676	91,501	,000	p<0,05 Se acepta Ha	Medias diferentes
	Intra-g	1,446	36	,040				
	Total	8,799	38					
<b>P</b>	Inter-g	,498	2	,249	7,088	,003	p<0,05 Se acepta Ha	Medias diferentes
	Intra-g	1,264	36	,035				
	Total	1,762	38					
<b>K</b>	Inter-g	,283	2	,142	32,849	,000	p<0,05 Se acepta Ha	Medias diferentes
	Intra-g	,155	36	,004				
	Total	,438	38					

**Fuente:** Resultados obtenidos de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

Según el análisis de varianza ANOVA de un factor, los tratamientos no muestran diferencias significativas para MO, pH, CE, IG con valores  $> 0,05$ . Por otro lado, el N, P y K demostraron una diferencia significativa con valores  $< 0,05$ .

En tal virtud, de acuerdo con el método de Tukey se determinó que para el Nitrógeno (N), las diferencias son significativas para cada pila, en cuanto al Fósforo (P) las diferencias significativas recaen en la pila 1 en comparación con las pilas 2 y 3, condición que se repite para el Potasio (K), tal y como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 11-3.** Método de Tukey

	Pila	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
<b>N</b>	Pila 1	13	0,6946		
	Pila 2	13		1,3662	
	Pila 3	13			1,7446
	Sig.		1,000	1,000	1,000
<b>P</b>	Pila 1	13	0,7669		
	Pila 3	13		0,9615	
	Pila 2	13		1,0346	
	Sig.		1,000	0,585	
<b>K</b>	Pila 1	13	0,9862		
	Pila 2	13		1,1500	
	Pila 3	13		1,1800	
	Sig.		1,000	0,481	

**Fuente:** Resultados obtenidos de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

## CONCLUSIONES

- Se compostaron los residuos vegetales del mercado mayorista San Pedro de Riobamba con tres proporciones distintas de poda de árboles y arbustos. La poda cumplió la función de agente estructurante brindando la porosidad necesaria para el correcto desarrollo de la actividad microbiana.
- Se estableció la calidad del compost realizando análisis físico-químicos, químicos y biológicos. Se concluyó que los tres tratamientos con distintas relaciones C/N cumplen con los valores que están dentro de normativa Chilena (NCh 2880), (US Composting Council, 2001), (European Commission 2014), (Ecological Criteria For Soil Improvers 2006), siendo recomendables para el uso directo en los suelos obteniendo valores en IG P1:88,22%; P2:90,66%; P3:91,18% Ph- ara cada una de las pilas respectivamente y con valores sobre el 1% para macronutrientes valores óptimos para el uso directo en los suelos, además en MO se obtuvo valores > 30 que está dentro norma.
- Se estableció el efecto del agente estructurante sobre los residuos orgánicos del mercado mayorista San Pedro de Riobamba, obteniendo así un compost de calidad aceptable en las tres pilas. No se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos para materia orgánica, pH, conductividad eléctrica e índice de germinación. Sin embargo, la Pila 3 presentó un mayor contenido de nitrógeno y potasio. Por esta razón y por el hecho de necesitar menor cantidad de residuos de poda y menos tiempo de compostaje, se considera que la mezcla mercado/poda en relación 9:1 es la recomendada para futuros procesos de compostaje.
- Se determinó el índice de germinación que permite evaluar si es un compost de calidad indicando valores aceptables dentro de la Norma, esto prueba que están libres de fitotóxicos siendo un abono de calidad destinado a cualquier tipo de cultivo.

## **RECOMENDACIONES**

- Con la finalidad de ejecutar un procedimiento adecuado para el compostaje se deben clasificar los residuos orgánicos que serán utilizados, separándolos así de materiales inapropiados para el compost.
- Realizar el triturado adecuado de la materia orgánica y su agente estructurante obteniendo un diámetro de las partículas de 1 a 5 cm para facilitar su descomposición.
- Impermeabilizar el área donde se realiza el proceso de compostaje para evitar que se infiltren los lixiviados generados mientras dura el proces

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGROCALIDAD.** *Normativa General para Promover y Regular la Producción Orgánicaecológica -Biológica en el Ecuador Acuerdo Ministerial N° 299.*. Registro oficial N°34, 2013, pp. 15-17.

**ALCOLEA, Miriam.** *Importancia de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos.* s.l., Barcelona, España : Cervantes, 2016, p.15.

**ALTAMIRANO, María.** *Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual,* 2016, pp. 61-65

**ALVAREZ, José.** *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica.* s.l., Andalucía, España : Carrascal, 2017, p.85.

**AME.** *Ecuador tendrá Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2014.* [En línea] 14 de Marzo de 2014. [Citado el: 13 de 11 de 2021.] <https://ame.gob.ec/ecuador-tendra-plan-nacional-de-gestion-de-residuos-solidos/>.

**AME.** *Manual de Aprovechamiento de Residuos Organicos Municipales,* 2020. [En línea] 1 de Marzo de 2014. [Citado el: 1 de 11 de 2021.] <https://ame.gob.ec/ecuador-tendra-plan-nacional-de-gestion-de-residuos-solidos/>.

**ANDRADE, Jairo.** *Técnicas para el aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos con alta tasa de biodegradación.* Bogotá, Colombia : s.n., 2015, pp.56-59.

**ARAIZA, JA.** *Cuantificación de Residuos Sólidos Urbanos Generados.* Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, pp.41-45.

**AUQUILLA, Erica.** *Co-Compostaje de Gallinaza Proveniente de la Granja Avícola Fernandita de la Ciudad De Riobamba,* 2019, pp.23-24.

**BANCO MUNDIAL.** *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.* Ciudad de Washintong : Kristyn Schrader-King, 2018.

**BETANCOURT, Doralia.** *Propuesta de Implementación de la Logística inversa para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, caso plaza de mercado de la localidad de los Mártires de la ciudad de Bogotá.* Bogotá : CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA, 2016, pp. 165-182.

**BUENO E.** Capitulo 4. *Factores que afectan al proceso de Compostaje*, 2008. [En línea] <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>.

**CABRERA, Victor.** *Propuesta para la Elaboración de Compost a Partir.* Lima, Peru : s.n., 2016, p. 152.

**CAREAGA, Antonio.** *Manejo y Reciclaje de los residuos de Envases y Embalajes.* México : Editorial Sedesol, 2017, pp.36-37.

**CASTRILLÓN, Olivia., & PUERTA, Silvia.** *Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista.* [ed.] Corporación Universitaria Lasallista. Colombia : Lasallista de Investigación, 2016. Vol. 1, pp. 15-21.

**CASTRO, Joaquín.** *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.* s.l., Colombia : Revista Unal, 2016, p.21.

**CHICA, A.,** *De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad II 3 Procesos de biotransformación de la materia orgánica: Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica.* [ed.] Madrid Mundi - Prensa. Orihuela : Fondo del Investigador Permanente, 2015, p. 86.

**CONSEJO DEL MUNICIPIO DE RIOBAMBA.** *Constitución de la República del Ecuador.* Ecuador : LEXIS, 2008. p. 24.

**CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ECUADOR.** *Constitución de la República del Ecuador*, 2008. [En línea] [Citado el: 21 de Marzo de 2021.] <https://pdba.georgetown.edu/Parties/Ecuador/Leyes/constitucion.pdf> Ecuador : LEXIS, 2008. p. 24.

**CUSTODE, F.** *Normativa Ambiental Ecuatoriana para el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos*. [ed.] Escuela Superior Politécnica Nacional, 2017, p. 36.

**ECHARRI, L.** *Ciencia de la Tierra y el Medio Ambiente*, 2015. [En línea] [Citado el: 24 de 03 de 2020.]  
<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/01IntrCompl/100MedAmb.htm>.

**ELIAS, I.** *Reciclaje de Residuos Industriales*, 2015.. [En línea] [Citado el: 21 de Marzo de 2021.]  
[https://books.google.com.ec/books?id=8yWSZEbQsXgC&pg=PA840&dq=Proceso+de+tratamiento+aerobio+en+reciclaje+de+Residuos+Industriales&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjO\\_NL6-O30AhU2TTABHYM8AtAQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=Proceso%20de%20tratamiento%20aerobio%20en%20reciclaj](https://books.google.com.ec/books?id=8yWSZEbQsXgC&pg=PA840&dq=Proceso+de+tratamiento+aerobio+en+reciclaje+de+Residuos+Industriales&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjO_NL6-O30AhU2TTABHYM8AtAQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q=Proceso%20de%20tratamiento%20aerobio%20en%20reciclaj).

**EMGIRS.** *Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito. Relleno Sanitario del MMQ*, 2016, p. 24.

**FERNÁNDEZ, A.** *Factores que influyen en el proceso de compostaje de residuos*. s.l. : Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo, 2017. p. 21.

**GALEA, Pedro.** *Ensayo de producción y caracterización de compost a partir de residuos de guacamole, poda y gallinaza*. España : Universidad Pablo de Olavide España, 2017, pp. 8-21.

**GAVILAEZ, R.** *Sostenibilidad del sector agroindustrial de Ecuador mediante el compostaje de sus residuos y el uso agrícola de los materiales obtenidos*. s.l. : Miguel Hernández de Elche Escuela Superior Politécnica de Orihuela, 2016, p. 30.

**GUERRERO, E.** *Implementación de un programa de reducción y tratamiento de residuos sólidos no peligrosos aplicables a la educación ambiental en la unidad educativa fiscal Rumiñahui*, 2019, [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2021.]  
<http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/2522/1/UDLA-EC-TIAM-2014-09%28S%29.pdf>.

**INECC.** *Manejo Integral de los Residuos Sólidos*, 2017. [En línea] [Citado el: 12 de 10 de 2021.]  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/133/manejo.html>.

**JARA, Janeth.** *Manejo y caracterización de Residuos Sólidos Urbanos de la Provincia de Chimborazo, Ecuador y su potencial uso en agricultura*. Trabajo de Fin de Máster. [En línea] [Citado el: 15 de Marzo de 2021.], 2014, pp. 37-38.

**JARA, Janeth.** *Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo.* Orihuela, España : s.n., 2016, p. 36.

**JARAMILLO, Henao.** *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.* Antioquia : Universidad de Antioquia, 2008, pp.25-43.

**JARAMILLO, Jorge.** *Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales.* Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2016, p. 43.

**KALIL, H.** *Seguimiento del Proceso de humificación en compost inoculado.* [ed.] Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias Bogotá. *Trabajo de Titulación.* Bogotá, Colombia : Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias Bogotá, 2015, pp. 56-47.

**LARA, Luis.** *Gestión de RSU Riobamba.* [entrev.] Janeth Jara. Riobamba, 2016 de 06 de 2013.

**LOMAS, Alvaro.** "Produce abono orgánico en la finca", 2009, p. 159.

**MASANGER, B.** *Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost.* *Biology and Fertility of soils*, 2008, pp 37:184-189.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA,** *Acuerdo Ministerial No. 299, Resolución N°99*, 2013, p.75.

**MOSQUERA, P.** *Abonos orgánicos Protegen el suelo y garantizan alimentación sana.* s.l. : Nancy Puente Figueroa (FONAG), 2010, p.5

**NAVARRO, N.,** 2014. *Fertilizantes: química y acción.* s.l. : Ediciones Paraninfo, S.A., 2014, p. 124.

**PÉREZ, D.** *Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost.* [ed.] Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química. Córdoba : Universidad de Córdoba Facultad de ciencias, 2017, pp. 130-147.

**ROMÁN, Cesar.** *Manual de Compostaje del Agricultor.* Experiencias en América Latina, 2013, pp. 51-52.

**RIPOLL, N.** *La basura no tiene que ser un problema,* 2019. [En línea] [Citado el: 2021 de Febrero de 15.] e  
[http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe\\_ecolo/basura\\_no\\_tiene\\_porque\\_ser.htm](http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe_ecolo/basura_no_tiene_porque_ser.htm).

**RÖBEN, E.** *Manual de compostaje para municipios.*(en línea). Ilustre Municipalidad de Loja. [En línea] 2002. [Citado el: 15 de 02 de 2020.]  
<http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>.

**RODRÍGUEZ, M.** *Manual de Compostaje.* s.l. : Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2017, pp. 74-76.

**RONDÓN, E.** *Guia General para la Gestion de Residuos Solidos Domiciliarios.* Santiago : PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS-CEPAL, 2016, pp. 71-75.

**SARSAYA, S.,** *Municipal solid waste management in Indian cities-A.* Journal of Enviromental Sciences, 2010, pp. 591-606.

**TABOADA, A.** *Grupo de Gestión de residuos. Proyecto de gestion de Residuos.* [En línea] 15 de 12 de 2009. [Citado el: 15 de 02 de 2021.]  
<https://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/2009/12/15/etapas-del-proceso-decompostaje/>.

**TIXE, R.** *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,* 2018, [En línea] pp. 9-15.

**TOLEDO, G.** *Caracterizacion de los Residuos Sólidos,* 2014,. [En línea] 15 de 09 de 2014. [Citado el: 24 de 03 de 2020.] <https://www.gestiopolis.com/caracterizacion-de-los-residuos-solidos-domiciliarios/>.

**TORO, G.** *Guia General para la Gestion de Residuos Solidos Domiciliarios.* Santiago : Publicaciones de lass Naciones Unidas, 2016, pp. 54-105.

**U.S. EPA.** *Exposure Factors Handbook*, 2011. [En línea] [Citado el: 24 de 03 de 2020.]  
<https://www.nrc.gov/docs/ML1400/ML14007A666.pdf>.

**ULLCA, R.** *Los rellenos sanitarios . La Granja, Revista de Ciencias de la Vida*, 2006. [En línea]  
<https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>. p. 2.

**US COMPOSTING COUNCIL.** “*US Composting Council*”. [En línea] (Normativa) (Científica). 2001. [Consulta: 6 de marzo 2022]. Disponible en: <https://compostingcouncil.org/>. 2001.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A: TÉCNICAS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.**

#### **PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

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

#### **ESTUFA DE SECADO**

Anotar características del equipo

#### **MATERIA ORGÁNICA**

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

#### **Fórmula para el cálculo:**

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

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

#### **DETERMINACIÓN DE pH**

- Pesar 3 o 4 g de muestra (balanza de 3 cifras).

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

LA MEDICIÓN DEBE HACERSE INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS. NO UTILICE MUESTRAS GUARDADAS.

**NOTA:** Funcionamiento del pH metro

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

### **DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**

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

LA MEDICIÓN DEBE HACERSE INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS. NO UTILICE MUESTRAS GUARDADAS.

Característica de la centrífuga:

**NOTA:** Funcionamiento del Conductímetro (Consort C860)

- Encender
- NO hace falta calibrar
- La medición de la lectura es directa introduciendo el sensor y el medidor de la temperatura en la muestra. Entre muestra y muestra se debe enjuagar con agua destilada y se seca con papel toalla
- Introducir el electrodo junto con el medidor de la temperatura en el líquido filtrado
- Leer la lectura cuando el punto se estabilice. Observar las unidades. (mili o micro siemens/cm). Sin embargo, la medición se debe reportar en  $\text{dSm}^{-1}$
- Al terminar debe quedar sumergido el electrodo en el agua destilada

Nota: pH y conductividad eléctrica se determina a la vez con la muestra preparada de la misma forma.

### **ÍNDICE DE GERMINACIÓN**

- Se pesa 3 g de muestra y se la humedece hasta alcanzar el 60% de humedad (4,5 mL de agua)  
Se deja en reposo durante 30´.
- Se añade 13,5 mL de agua desionizada por gramo de muestra seca para diluir este extracto hasta el 10% (total 40,5 mL de agua)
- Agitar durante 30´
- Centrifugar a 4000 rpm durante 10´
- Filtrar al vacío con papel de 0,45 micrómetros para esterilizar el extracto
- Colocar papel filtro en las cajas Petri (10 cajas por tratamiento). Rotular en la base de las cajas (no en la tapa)
- Con una pinza colocar 8 semillas de rábano
- Añadir 2mL de extracto acuoso, mojando el papel en su totalidad
- Como tratamiento testigo o blanco, en vez del extracto se añade 2 mL de agua desionizada (10 cajas Petri)
- Incubar las cajas Petri a 28°C por 48 horas, distribuyendo las placas en grupos de 5 y envolviéndolas con papel aluminio
- Sacar las cajas y desactivar el crecimiento de las semillas añadiendo una solución acuosa al 50% de etanol (este paso se puede omitir si la medición se realiza inmediatamente)
- Se cuenta el número de semillas germinadas. PGR porcentaje de germinación relativo  
$$\text{PGR} = \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas en el extracto}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo o blanco}} \right) \times 100$$
- Con un pie de rey se mide la longitud de la elongación de las raíces por caja. CRR  
Crecimiento de Radícula Relativo  
$$\text{CRR} = \left( \frac{\text{Elongación de radícula en el extracto}}{\text{Elongación de radícula en el testigo o blanco}} \right) \times 100$$
- Se trabaja con los valores promedio de cada caja.
- Los resultados se expresan como índice de germinación IG  
$$\text{IG} = \text{PGR} \times \text{CRR} / 100$$

LA MEDICIÓN DEBE HACERSE INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS. NO UTILICE MUESTRAS GUARDADAS.

## ANEXO B: ETAPA PRÁCTICA

**Figura 3:** Peso de los residuos de mercado



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 4:** Recepción de residuos orgánicos en la nave de compostaje



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 5:** Formación de las pilas



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 6:** Pilas formadas



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 7:** Toma de temperatura



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 8:** Volteo



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 9:** Limpieza de las pilas después del volteo



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 10:** Muestreo



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 11:** Compost



**Fuente:** Relleno Sanitario de Porlón.  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

## ANEXO C: ANÁLISIS DE LABORATORIO

**Figura 12:** Pesaje



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 13:** Calcinar muestras para MO



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 14:** Desechado



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 15:** Pesaje



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

**Figura 16:** Determinar CE y pH



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).

**Figura 17:** Centrifugación y filtración para determinar CE y Ph



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 18:** Determinación de pH y CE



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 19:** Digestión Ácida



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 20:** Determinación de macronutrientes



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 21:** Determinación de macronutrientes



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 22-C:** Filtración al vacío



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 23:** Incubación a 28°C



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022)..

**Figura 24:** Semillas germinadas



**Fuente:** Análisis de Laboratorio de P1, P2, P3  
**Realizado por:** (Cando, R. 2022).



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 07 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Rosa Ana Cando Moreno
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



1381-DBRA-UTP-2022