



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DE VOLTEO EN LA
CALIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS VEGETALES DE LA
EP- EMMPA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: KATHERIN JHOANNA QUILLAY PILAMUNGA

DIRECTORA: DRA. JANNETH JARA SAMANIEGO, PhD

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Katherin Jhoanna Quillay Pilamunga**

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 del Autor.

Yo, KATHERIN JHOANNA QUILLAY PILAMUNGA, declaro que el presente Trabajo de Titulación 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 Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de julio de 2022

Katherin Jhoanna Quillay Pilamunga

CI. 060480842-8

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo Proyecto de Investigación, **INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DE VOLTEO EN LA CALIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS VEGETALES DE LA EP- EMMPA**, realizado por la señorita: **KATHERIN JHOANNA QUILLAY PILAMUNGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-07-25
Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-07-25
Ing. Juan Carlos González García, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-07-25

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios quien con su inmensa bondad fue mi fuerza, mi guía en todo momento, con su ayuda espiritual y su sabiduría logré salir adelante y no desistir ante las contrariedades que se me presentaron.

A mi madre Rosita y a mi madrina Alicia les dedico por ser mi soporte, por siempre estar junto a mi brindándome su cariño y apoyo incondicional, palabras de aliento, consejos que me han ayudado a lo largo de mi vida a reflexionar sobre mis errores y aciertos, que me harán seguir avanzando en el camino tanto en mi formación profesional y humana.

Katherin

AGRADECIMIENTO

A Dios por estar junto a mí, cuidándome y siendo mi fortaleza en mi día a día.

A mi madre Rosita por siempre ser mi apoyo, por alentarme a seguir, por su paciencia, por su comprensión por ser el ser más importante en mi vida que nunca a dejado de creer en mí.

A mi familia, madrina y a las personas cercanas por sus palabras, sus consejos, su apoyo moral, por cada atención brindada.

Agradezco de forma especial a la Dra. Janneth Jara directora del trabajo de titulación, por su paciencia, comprensión, conocimientos, tiempo, apoyo durante la realización del trabajo y en mi formación académica.

Al Ing. Juan Carlos González por su apoyo y guía en la elaboración del trabajo investigativo.

A los técnicos docentes de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Ing. Georgina Olalla y Dr. Mauricio Álvarez por su predisposición en cooperar y facilitar el trabajo.

Al departamento de Gestión Ambiental del GADM de Riobamba, al Ing. Marcos Guamán encargado del Relleno Sanitario de Porlón y al personal que labora en dicho lugar, por el apoyo y ayuda que permitieron la realización del proyecto.

Katherin

TABLA DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas	6
1.2.1. Residuos sólidos	6
1.2.2. Clasificación de los residuos sólidos	7
1.2.2.1. Según su composición	7
1.2.2.2. Según su potencial contaminante	7
1.2.2.3. Según su fuente de origen	8
1.2.3. Gestión de residuos sólidos	10
1.2.4. Residuos sólidos orgánicos	11
1.2.5. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos	11
1.2.5.1. Beneficios del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos	12
1.2.5.2. Beneficios del aprovechamiento de los residuos vegetales	12
1.2.6. Sistema de compostaje	13
1.2.6.1. Compost	13
1.2.7. Etapas del compostaje	14
1.2.7.1. Fase mesófila	14
1.2.7.2. Fase termófila o de higienización	14
1.2.7.3. Fase de enfriamiento o mesófila II	14
1.2.7.4. Fase de maduración	15
1.2.8. Parámetros de control durante el proceso de compostaje	15
1.2.8.1. Relación entre carbono y nitrógeno	15
1.2.8.2. Nutrientes	16

1.2.8.3.	<i>Contenido de materia orgánica</i>	16
1.2.8.4.	<i>Conductividad eléctrica</i>	16
1.2.8.5.	<i>Aireación</i>	17
1.2.8.6.	<i>Humedad</i>	17
1.2.8.7.	<i>Temperatura</i>	18
1.2.8.8.	<i>Potencial de hidrógeno pH</i>	19
1.2.8.9.	<i>Tamaño de partícula</i>	19
1.2.9.	<i>Seguimiento de control del proceso de compostaje</i>	19
1.2.9.1.	<i>Volteo de compostaje</i>	19
1.2.9.2.	<i>Monitoreo de compostaje</i>	20
1.3.	Bases conceptuales	20
1.4.	Base legal	22
1.4.1.	<i>Marco legal referente al compostaje</i>	24
1.4.1.1.	<i>Legislación internacional</i>	25
1.4.1.2.	<i>Normativa ecuatoriana</i>	27

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	28
2.1.	Diseño experimental	28
2.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	28
2.1.2.	<i>Localización del estudio</i>	29
2.1.3.	<i>Población de estudio</i>	29
2.1.4.	<i>Tamaño de la muestra</i>	29
2.1.4.1.	<i>Selección de la muestra</i>	30
2.1.5.	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	30
2.1.5.1.	<i>Análisis estadístico</i>	30
2.2.	Diseño experimental del proceso de compostaje	30
2.2.1.	<i>Maquinaria, materiales, equipos utilizados en la elaboración y monitoreo de las pilas</i>	30
2.2.1.1.	<i>Maquinaria y equipos</i>	30
2.2.1.2.	<i>Materiales</i>	31
2.2.2.	<i>Preparación del material orgánico</i>	31
2.2.3.	<i>Determinación de la relación C/N</i>	32
2.2.4.	<i>Formación de las pilas</i>	32
2.2.5.	<i>Registro de la temperatura y humedad</i>	33
2.2.6.	<i>Volteos (frecuencia)</i>	35

2.2.7.	<i>Toma de muestras</i>	36
2.2.8.	<i>Análisis físico-químico y químicos</i>	36
2.2.8.1.	<i>Preparación de las muestras</i>	36
2.2.8.2.	<i>Determinación de materia orgánica</i>	38
2.2.8.3.	<i>Determinación de pH</i>	39
2.2.8.4.	<i>Determinación de conductividad eléctrica (CE)</i>	40
2.2.8.5.	<i>Determinación de NPK</i>	41
2.2.9.	<i>Análisis biológico y microbiológico</i>	43
2.2.9.1.	<i>Determinación de índice de germinación (IG)</i>	43
2.2.9.2.	<i>Determinación de bacterias ácido lácticas en los residuos vegetales</i>	45

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
3.1.	Análisis de resultados	47
3.1.1.	<i>Caracterización de parámetros físico-químicos y químicos iniciales</i>	47
3.1.2.	<i>Variación de temperatura</i>	47
3.1.3.	<i>Humedad</i>	49
3.1.4.	<i>Variación de pH</i>	50
3.1.5.	<i>Variación de la conductividad eléctrica (CE)</i>	51
3.1.6.	<i>Variación de materia orgánica</i>	52
3.1.7.	<i>Variación de macronutrientes</i>	53
3.1.8.	<i>Relación C/N</i>	54
3.1.9.	<i>Parámetros biológicos</i>	55
3.1.9.1.	<i>Índice de germinación (IG)</i>	55
3.1.9.2.	<i>Bacterias ácido lácticas</i>	55
3.1.10.	<i>Calidad de los productos finales</i>	56

CONCLUSIONES	58
--------------	-------	----

RECOMENDACIONES	59
-----------------	-------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 2:	Preparación del material.	32
Figura 2 - 2:	Cálculo de la relación C/N.	32
Figura 3 - 2:	Formación de pila (PI).	33
Figura 4 - 2:	Formación de pilas (P1 y P2).	33
Figura 5 - 2:	Registro de T°, %H primera fase.	34
Figura 6 - 2:	Control de T°, %H segunda fase.	34
Figura 7 - 2:	Volteo de pilas (P1 y P2).	35
Figura 8 - 2:	Toma de muestra.	36
Figura 9 - 2:	Preparación de muestra.	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -3:	Variación de temperatura.	48
Gráfico 2 – 3:	Variación del pH.	50
Gráfico 3 -3:	Variación de CE.	51
Gráfico 4 -3:	Variación de materia orgánica.	52
Gráfico 5 -3:	Variación de macronutrientes.	53
Gráfico 6 -3:	Índice de germinación.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - 1:	Marco legal aplicable para residuos sólidos	23
Tabla 2 - 1:	Límites máximos permisibles de parámetros para considerar un compost de calidad con base a la normativa chilena	25
Tabla 3 - 1:	Contenido máximo de elementos traza en materias primas para compostaje.....	26
Tabla 4 - 1:	Concentraciones máximas de metales pesados en compost	26
Tabla 5 - 1:	Apartados del anexo 1	27
Tabla 6 - 2:	Ubicación geográfica del proyecto de compostaje	29
Tabla 7 - 2:	Determinación de materia orgánica	38
Tabla 8 - 2:	Determinación de pH.....	39
Tabla 9 - 2:	Determinación de conductividad eléctrica.....	40
Tabla 10 - 2:	Determinación de NPK.....	41
Tabla 11 - 2:	Determinación de índice de germinación	43
Tabla 12 - 2:	Determinación de bacterias ácid ácticas	45
Tabla 13 - 3:	Caracterización inicial de parámetros físico-químicos y químicos.....	47
Tabla 14 - 3:	Análisis estadístico coeficiente de variación.....	56
Tabla 15 - 3:	Análisis estadístico t-student	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FASE EXPERIMENTAL

ANEXO B: FASE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO EN EL LABORATORIO

ANEXO C: FASE ANÁLISIS BIOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO EN EL LABORATORIO

ANEXO D: ZONA DE ESTUDIO

ANEXO E: TEMPERATURA PROMEDIO DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

BAL	Bacterias Ácido lácticas
C/N	Relación Carbono/ Nitrógeno
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
CE	Conductividad Eléctrica
CO₂	Dióxido de Carbono
COA	Código Orgánico Ambiental
dS/m	Decisiemens por metro
EP- EMMPA	EP - Mercado de Productores Agrícolas “San Pedro de Riobamba”
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
g	Gramos
GADM	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal
GIADE	Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico
HCL	Ácido Clorhídrico
HNO₃	Ácido Nítrico
H₀	Hipótesis nula
H_a	Hipótesis Alternativa
IG	Índice de Germinación
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
K	Potasio
kg/hab/día	Kilogramo por habitante por día
LORSA	Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria
MAGAP	Ministerio de Agricultura y Ganadería
mg/kg	Miligramo por Kilogramo
MO	Materia Orgánica
MRS	Agar (Man, Rogosa y Sharpe)
N	Nitrógeno
Nt	Nitrógeno total
P	Fósforo
P1	Pila 1
P2	Pila 2
pH	Potencial de hidrógeno
PNGIDS	Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos
RCOA	Reglamento al Código Orgánico Ambiental

rpm	Revoluciones por minuto
RSM	Residuos Sólidos Municipales
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
t/día	Toneladas por día
UV	Ultravioleta
%H	Porcentaje de Humedad
°C	Grados Celsius

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Relleno Sanitario de Porlón de la ciudad de Riobamba. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la influencia de la frecuencia de volteo en la calidad del compost de residuos vegetales de la EP- EMMPA del cantón Riobamba. En la primera etapa del experimento se armó una pila inicial (PI) de aproximadamente treinta toneladas de residuos vegetales y residuos de poda, la relación C/N inicial estuvo dentro de lo establecido en la normativa; el compostaje se realizó en un sistema abierto, con volteo mecánico y la humedad y temperatura se controló dos veces por semana. Luego de dos meses y cuando la fase termófila había avanzado, a partir de la pila inicial, se armaron dos pilas en las que la frecuencia de volteo fue diferente. La pila 1 (P1) se volteó dos veces por semana y la pila 2 (P2) una vez cada quince días. Antes del volteo, se tomaron muestras de cada pila para realizar los análisis de los parámetros más importantes. La evolución de la temperatura en las pilas fue adecuada distinguiéndose la fase mesófila y la termófila con temperaturas superiores a los 55 °C, asegurando una correcta higienización. Los resultados indicaron que el aumento en la frecuencia de volteos, redujo la humedad y los contenidos de los macronutrientes y favoreció la disminución de sustancias fitotóxicas presentando índices de germinación aceptables y valores más bajos de conductividad eléctrica. Para obtener residuos vegetales sin presencia de impropios, se debe realizar una correcta separación dentro del EP- EMMPA, por parte de los comerciantes y el personal de limpieza.

Palabras clave: <RESIDUOS VEGETALES>, <CALIDAD>, <VOLTEOS>, <TEMPERATURA>, <RELLENO SANITARIO DE PORLÓN>.

1723-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The current research was carried out at Porlón Landfill, located in Riobamba. The aim of this study was to evaluate the influence of the turning process frequency in the quality of compost from vegetable waste generated by the EP- EMMPA company from Riobamba County. The first stage of the experiment had to do with the implementation of a 30-ton initial pile (IP), which contained vegetable and pruning waste, the initial C/N ratio was according to the established norms; the composting process was carried out in an open system with a mechanical turning in which humidity and temperature were monitored twice a week. Two months later, when the thermophilic phase had increased, two piles were accumulated from the initial pile, in which the turning frequency was different. Pile 1 (P1) was turned twice a week and pile 2 (P2) once a fortnight. Before the turning process, it was necessary to take samples from each pile in order to analyze the most important parameters. The temperature evolution in the piles was adequate and it was possible to evidence the mesophilic and thermophilic phases with temperatures above 55 °C, which guarantees appropriate sanitization levels. The results revealed that the increase in the turning frequency reduced humidity and macronutrient contents and favored the reduction of phytotoxic substances, presenting acceptable germination indices and lower electrical conductivity values. To obtain vegetable waste without the presence of improper substances, it is necessary to carry out a correct separation of waste at the EP- EMMPA company by traders and cleaning personnel.

Keywords: <VEGETABLE WASTE>, <QUALITY>, <TURNING>, <TEMPERATURE>, <PORLÓN LANDFILL>.

Lic. Paul Armas Pesantes Ms.

060328987-7

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos se ha incrementado de forma considerable, ocasionado así problemas económicos, ambientales y sociales debido a su inadecuada gestión. De igual manera, el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos y su escaso aprovechamiento es uno de los problemas más complejos que enfrentan las municipalidades no solo en el Ecuador sino a nivel mundial (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020a, p. 1).

Los residuos y su gestión es una tarea que requiere compromiso y participación colectiva. Sin embargo, la falta de educación ambiental, el crecimiento poblacional, el poco o nulo interés de las personas con respecto al cuidado del ambiente, el déficit de los servicios sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos han dado origen a vertederos no técnicos en las ciudades, donde se disponen finalmente los residuos sin medidas de seguridad ni higiene y debido al mal manejo de los mismos, se generan malos olores, proliferación de vectores, segregación de sustancias nocivas para el ambiente afectando la salud de la población.

Existen varios tratamientos para este tipo de residuos: compostaje, lombricultura, digestión aeróbica, bocashi. Sin embargo, se debe buscar una alternativa que responda a las necesidades locales, incluso regionales y nacionales sujetas a la normativa ambiental. En esta investigación, el tratamiento seleccionado fue el compostaje, debido a que es un tratamiento relativamente sencillo que permite obtener abonos orgánicos de calidad aceptable.

En la actualidad, los residuos sólidos vegetales generados los días lunes en la Empresa Pública Mercado de Productores San Pedro de Riobamba (EP- EMMPA), previa una recolección selectiva, son transportados a la zona de compostaje del Relleno Sanitario de Porlón. Allí son compostados en mezcla con poda como agente estructurante. Los residuos orgánicos que se generan los otros días, por falta de infraestructura, siguen siendo depositados en el relleno sanitario sin ningún tratamiento.

Se armaron dos pilas y se evaluó la influencia de volteo en el comportamiento de variables físico-químicas del proceso de compostaje (pH, conductividad eléctrica, humedad, temperatura), así como variables de calidad del producto, resultando de calidad aceptable.

Formulación del problema

¿La frecuencia de volteo influirá en la calidad del compost de residuos vegetales de la EP-EMMPA del cantón Riobamba?

Justificación de la investigación

Una de las razones por las cuales nuestro país puede realizar proyectos de compostaje se debe a que los porcentajes de producción de desechos sólidos orgánicos son muy altos. El compostaje pasa entonces a ser parte de este manejo alternativo de los residuos sólidos orgánicos generando compost y reduciendo los residuos.

En todos los mercados se da la compra y venta de diversos productos de forma masiva; la EP-EMMPA no es la excepción. La cantidad de residuos producidos es muy grande y los de origen vegetal son los que se generan en mayor cantidad con un aproximado del 95 % los mismos que presentan una rápida degradación atrayendo la presencia de vectores contaminantes que directamente conllevan un riesgo a la salud de las personas que ingresan al mercado a proveerse de víveres, comerciantes fijos de la empresa y usuarios de la zona de influencia (Jiménez, 2015a, p. 3).

Los residuos vegetales están formados por frutas de temporada, hojas de hortalizas, legumbres, cereales y productos propios que se venden en los mercados. Los altos porcentajes de materia orgánica fácilmente degradable y su riqueza en nutrientes, hace que estos residuos sean ideales para los procesos de compostaje.

El compostaje es una alternativa segura, rentable y sostenible que aprovecha los macro y micro nutrientes de los residuos mediante la obtención de un producto final conocido como “compost” apto para la agricultura. Es necesario controlar el proceso para obtener un producto de calidad, evitar la generación de olores y reducir el tiempo de producción. La aireación realizada mediante volteo es uno de los parámetros más importantes a considerar, debido a su aporte de oxígeno, control de la temperatura, la eliminación de humedad y la evacuación de CO₂ y otros gases generados durante la biodegradación de la materia orgánica.

En este sentido, no existiendo estudios relacionados con la influencia de volteos en los procesos de compostaje de los residuos vegetales de la EP-EMMPA, el presente trabajo de investigación estableció cómo afecta la frecuencia del volteo en la calidad del compost y en la duración del proceso, de esta forma se contribuirá al desarrollo de un producto de buena calidad apto para la agricultura y jardinería como enmienda para el suelo, remplazando así a los fertilizantes químicos por productos naturales y amigables con el ambiente.

El financiamiento del proyecto de investigación correspondió al Proyecto de vinculación: Diseño e implementación del proyecto de producción, transformación, comercialización y promoción de consumo de la quinua y sus derivados, puesto que el compost obtenido será destinado a los cultivos de quinua orgánica.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Evaluar la influencia de la frecuencia de volteo en la calidad del compost de residuos vegetales de la EP- EMMPA del cantón Riobamba.

Objetivos específicos

- Armar dos pilas de compostaje con una misma relación carbono/nitrógeno
- Establecer distintas frecuencias de volteo para cada pila
- Caracterizar los compost obtenidos
- Determinar la calidad de los compost obtenidos

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

La gestión de los desechos sólidos es un problema universal que atañe a todo habitante del planeta. Y con más del 90 % de los desechos que se vierten o quemados a cielo abierto en los países de ingresos bajos, son los pobres y los más vulnerables quienes se ven más afectados (Banco Mundial, 2018).

La falta de aprovechamiento de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), es uno de los problemas más complejos que enfrentan las municipalidades no solo en el Ecuador sino a nivel mundial. La composición de los RSM está determinada fundamentalmente por los patrones de consumo de la población, condiciones socio económicas, tamaño de la población, entre otros (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020b, p. 1).

En Ecuador la generación de residuos se incrementa todos los días, debido al crecimiento poblacional, al consumo excesivo y el desperdicio de productos. La gestión incorrecta de los residuos provoca impactos ambientales y afecciones a la salud de la población cuando se los dispone en rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto.

En los últimos años la población del Ecuador se ha incrementado notablemente, generándose una gran cantidad de residuos sólidos urbanos que están alrededor de los 4,9 millones de toneladas al año, donde el 58,47% de éstos, son de tipo orgánico y el 41,53% es de tipo inorgánico (Ruíz, 2020, p. 6; citado en PNGIDS 2019), de tal forma que es evidente que la fracción orgánica predomina dentro de su composición y al no poseer una adecuada disposición, genera problemas ambientales como la contaminación del aire, suelo y agua, generación de malos olores y lixiviados, emisión de gases de efecto invernadero, entre otros, poniendo en riesgo a la población debido al foco de infecciones que pueden generar (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020c, p. 1).

A nivel nacional son recolectados de forma diferenciada aproximadamente 604 t/día de residuos orgánicos (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020d, p. 10). Sin embargo, durante los años 2015 al 2018 ha existido un incremento de las metodologías para el aprovechamiento de estos residuos en los 221 cantones del Ecuador. De los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) que existen, 90 de ellos realizan algún tipo de aprovechamiento parcial de los residuos orgánicos

que reciben; de éstos la región que más realiza aprovechamiento es la sierra ecuatoriana (50 GADM), seguido de la región amazónica (24 GADM) y finalmente la costa ecuatoriana con un total de 13 GADM. En la región insular, sus 3 GADM cuentan con sistemas de aprovechamiento. A nivel nacional, las metodologías más comunes reportadas para el aprovechamiento de los RSM son: Compostaje, Lombricultura y Bocashi (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020e, p. 2).

La Alcaldía de Cuenca (Ecuador) aprovecha el material separado y recolectado en los seis 6 mercados de la ciudad, así como los residuos generados del mantenimiento de las áreas verdes públicas (ramas y pasto) para trasladarlos a su Planta de Compostaje. Cada año se genera 234.711 Toneladas de compost (para consumo interno usado por Áreas verdes) y 88.948 toneladas de humus para la venta (Gobernanza local, 2013).

El GADM de Loja se encarga de elaborar humus a partir de los residuos que a diario se retiran de los domicilios de la ciudad, los días lunes, miércoles, viernes y domingos. Estos son trasladados al Centro de Gestión Integral en el Manejo de Desechos Sólidos. Se producen mensualmente 1200 sacos (Díaz, 2018).

En una investigación realizada, se analizó la generación de residuos en los mercados de la ciudad de Riobamba. Desde la Dirección de Gestión Ambiental Salubridad e Higiene, se informó que se generan alrededor de 16 toneladas diarias de estos residuos, constituidos en su mayor parte por residuos orgánicos (Jara, 2014, pp. 20-23).

En 2016 se obtuvo compost a partir de los residuos sólidos generados en el Mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba. El producto poseía las propiedades físico - químicas, químicas y biológicas adecuadas para ser empleado como abono orgánico o mejorador de suelos mediante el aporte de nutrientes esenciales (Brito et al., 2016, pp. 77-78).

En el estudio realizado por (Oviedo, Marmolejo y Torres, 2014b, p. 98) se determinó la influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal y demostraron que el incremento en la frecuencia del volteo de las pilas de compostaje de biorresiduos es efectivo para el control de la humedad inicial de los sustratos y se recomienda efectuar en la fase mesofílica, adicionalmente, podría combinarse con otras estrategias, como la incorporación de materiales de soporte, que contribuye a mejorar la porosidad del material y las condiciones de aireación del material, incrementan el contenido de carbono de los sustratos y ayudan a minimizar las pérdidas de nitrógeno ocasionada por los volteos.

En una investigación realizada en 2019 se determinó el efecto de la frecuencia de volteo en el biosecado de residuos sólidos orgánicos, los datos evidenciaron que la pérdida de humedad de las pilas en el invernadero se llevó a cabo en dos etapas: biosecado (actividad microbiana y radiación solar) y secado al ambiente (sólo radiación solar) (Orozco Álvarez et al., 2019, p. 987).

Ante esta realidad, la presente investigación pretende establecer la influencia de la frecuencia de volteos en los compost obtenidos de los residuos vegetales provenientes de la EP-EMMPA en mezcla con residuos de poda de los parques y jardines de la ciudad de Riobamba. Además, se ayudará a mitigar los impactos ambientales, sociales y económicos, generados por la gestión incorrecta de estos residuos.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Residuos sólidos

Los residuos o desechos sólidos son aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce y han alcanzado en el contexto que es producido ningún valor económico. La inadecuada disposición de los residuos sólidos es fuente de proliferación de fauna nociva (ratas, cucarachas, moscas, mosquitos, etc.), la cual puede transmitir enfermedades infecciosas, también puede generar gases, humos y polvos que contribuyen a la contaminación atmosférica (CELEC E.P, 2016, p. 7).

Sin embargo, cabe aclarar que lo que para unos es un desecho inservible, para otros puede ser un elemento, objeto, sustancia o material que aún no ha terminado su vida útil. Por lo anterior, se puede afirmar que el concepto del término “residuos o desecho sólido” no es objetivo, por estar determinado por una decisión del generador (Tixe y Ruiz, 2018a, p. 16).

Según (Hernández y Blanco, 2017, p. 6) residuo se puede entenderse como todo aquel material que producen en actividades diarias del que se busca desprender o deshacer porque ha perdido su valor o porque ha dejado de ser útil. Cualquier material producido por la actividad humana, derivado de la descomposición o de la destrucción de algo, y destinado a ser desechado se considera como residuo (Pecoraio, 2015, p. 9).

1.2.2. Clasificación de los residuos sólidos

1.2.2.1. Según su composición

Residuos orgánicos

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, 2014a, p. 2).

Residuos inorgánicos

Es todo desecho de origen no biológico, es decir, de origen industrial o algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas, etc (Salazar y Sanchez, 2018, p. 13).

1.2.2.2. Según su potencial contaminante

Residuos inertes

Son aquellos no biodegradables ni combustibles que provienen generalmente de la extracción, procesamiento o utilización de los recursos minerales; por ejemplo, el vidrio, los metales, los residuos de construcción y demolición de edificios, tierras, escombros, entre otros (González, 2016a, p. 111).

Residuos no peligrosos

Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido, que no presenta características de peligrosidad en base al código C.R.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 (Tulsma, 2017a, p. 161).

Residuos peligrosos

Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto

con características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas o tóxicas, que representen un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente (Tulsma, 2017b, p. 379).

1.2.2.3. Según su fuente de origen

Residuos sólidos urbanos (RSU)

Los residuos sólidos urbanos, conocidos popularmente como “basuras” que se producen en los núcleos de población, constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empieza a invadir su espacio vital o de esparcimiento.

Se incluyen todos los residuos que se generan en la actividad doméstica, comercial, industrial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, jardines y parques. Según la procedencia y la naturaleza de estos residuos, se pueden clasificar en: domiciliarios (procedentes de la actividad doméstica); voluminosos de origen doméstico (embalajes, muebles); comerciales, procedentes de las actividades empresariales; residuos de limpieza de vías y áreas públicas generadas en la limpieza de calles, arreglo de parques y jardines, entre otros (González, 2016b, p. 111).

Residuos industriales

Aquel que es generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción (Norma Ambiental Ecuatoriana, 2003, p. 5).

Residuos hospitalarios

Son los generados en los establecimientos que brindan servicios de salud y se componen de desechos asimilables a los domésticos, peligrosos y especiales. Están conformados por restos de curaciones y cirugías, instrumentos corto punzantes, medicinas caducadas y de laboratorios.

El manejo y disposición final de este tipo de residuos se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el Código de la Salud y el reglamento de manejo de desechos hospitalarios expedido por el Ministerio de Salud. Los residuos peligrosos separados en la fuente serán retornados al continente o incinerados localmente por personal especializado de los establecimientos respectivos (Tulsma, 2017c, p. 383) .

Residuos agropecuarios

Son considerados en general de naturaleza orgánica; como tales, comparten características similares con otros residuos de origen agroindustrial y con la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos.

La diferencia básica radica en que los residuos agropecuarios se producen en su entorno natural, mientras que los de origen agroindustrial son generados en procesos de transformación de los productos agrícolas y, finalmente, los urbanos que se generan en el proceso de consumo.

Los residuos agropecuarios se componen de los siguientes grupos: residuos agrícolas, forestales, ganaderos y de industrias agropecuarias. Independientemente de su origen o estructura, los residuos sólidos son factibles de reutilizarse, recuperarse o reciclarse. El nivel de concientización, la voluntad política, los recursos legales y la tecnología disponible, son factores decisivos para llevar a cabo algún sistema de gestión. El recurso económico y su disponibilidad juegan un papel importante, pero no deben ser determinantes para lograr la gestión de los residuos sólidos, de una forma que armonice con el medio ambiente y la salud pública (González, 2016c, p. 112).

Residuos reciclables

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, 2014b, p. 4).

Residuos no reciclables

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, 2014c, p. 4).

Residuos especiales

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 generado (INEN, 2014d, p. 4).

Residuos de servicios

Son los generados en establecimientos comerciales, restaurantes, mercados, terminales terrestres, aéreas o marítimas y otros (Tulsma, 2017d, p. 378).

Residuos institucionales

Son generados en los establecimientos educativos, gubernamentales, militares, entre otros (Tulsma, 2017e, p. 378).

Residuos de actividades turísticas

Son los generados por los armadores turísticos, embarcaciones, de turismo, hoteles y otras actividades relacionadas con turismo (Tulsma, 2017e, p. 378).

Residuos de actividades artesanales y de talleres

Son residuos generados en aserraderos, carpinterías, talleres de mecánicas, actividades productivas, así como construcciones y reparaciones de embarcaciones en varaderos y playas (Tulsma, 2017f, p. 378).

Residuos voluminosos

Corresponden a objetos de gran tamaño como electrodomésticos, automotores, sus partes y repuestos, embarcaciones, equipos electrónicos, tanques metálicos, llantas y otros (Tulsma, 2017g, p. 378).

1.2.3. Gestión de residuos sólidos

La gestión integral de residuos constituye el conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, que tienen la finalidad de dar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más adecuado desde el punto de vista técnico, ambiental y socio-económico, de acuerdo con sus

características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación y aprovechamiento, comercialización o finalmente su disposición final. Está dirigida a la implementación de las fases de manejo de los residuos sólidos que son la minimización de su generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, tratamiento, aprovechamiento y disposición final.

Una gestión apropiada de residuos contribuye a la disminución de los impactos ambientales asociados a cada una de las etapas de manejo de éstos (Tulsma, 2017h, p. 178).

Además, cabe mencionar que una adecuada gestión de los residuos empieza con la elaboración y comercialización, ya que en estas etapas se puede determinar el volumen que se generará de residuos. Comprende una planificación previa, con el objetivo de cumplir tres propósitos: la aplicación de tratamientos para su reaprovechamiento, la disminución de la cantidad de residuos desde la fuente y el control del destino de los residuos (Valverde, 2015, p. 8).

1.2.4. Residuos sólidos orgánicos

El término residuo orgánico se refiere a todo aquel material que proviene de especies de flora o fauna y es susceptible de descomposición por microorganismos, o bien consiste en restos, sobras o productos de desecho de cualquier organismo, tales como: desechos alimentarios (es decir, comida desechada y cualquier parte no comestible de un alimento), desechos de jardín (hojas y recortes de hierba), cartón y otros productos de papel, desechos de madera (salvo escombros de construcción y demolición) y desechos de mascotas. (CCA, 2017, p. 4).

De esta forma a los residuos sólidos orgánicos se los conoce como 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 así lo menciona (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020f, p. 9).

1.2.5. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

Es de suma importancia realizar el aprovechamiento de la fracción orgánica, puesto que permite recuperar el valor bioquímico de los nutrientes que contienen y emplearlos en varias aplicaciones con valor económico y ambiental, además de extender la vida útil de los sitios de disposición final, y disminuir impactos ambientales. Con el tratamiento de este tipo de residuos se pueden obtener productos tales como abonos orgánicos, energía eléctrica, energía térmica,

biocombustibles, pellets, entre otros, que benefician a la población (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020g, p. 1).

1.2.5.1. Beneficios del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos

Los principales beneficios del aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos se podrían enmarcar en los siguientes:

- Los residuos orgánicos recuperados se convierten en la materia prima, para la producción, por diferentes metodologías, de abonos orgánicos y energía, contribuyendo de esa manera a la economía circular del país.
- Permite disponer sustratos orgánicos que incentivan actividades de agricultura, reforestación y recuperación de suelos degradados.
- Posibilitan la consolidación de proyectos productivos que permiten generar ingresos alrededor de la producción de abonos, alimentos orgánicos y energía.
- El aprovechamiento de la fracción orgánica evita la generación de impactos ambientales al aire, suelo y agua.
- Disminución de la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero, producto de la descomposición incontrolada de la fracción orgánica en los sitios de disposición final.
- Disminución de malos olores y contaminación del agua que se derivan de la descomposición de los residuos en el relleno sanitario, que afectan principalmente a las personas que viven cerca de éstos.
- Previenen la aparición y transmisión de enfermedades que se generan a raíz de un manejo inadecuado de los recursos orgánicos, al reducir la proliferación de vectores.
- Disminución de la cantidad de residuos que se disponen en los rellenos sanitarios, incrementando su vida útil (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020h, p. 1).

1.2.5.2. Beneficios del aprovechamiento de los residuos vegetales

Presentan beneficios similares a los residuos orgánicos, a continuación, se menciona algunos:

- Una de las opciones más utilizada con el empleo de residuos vegetales, junto con otros residuos como el estiércol, es el compostaje. Entre las ventajas de esta posibilidad se encuentran el enriquecimiento del suelo o el aumento de su capacidad de retención del agua (Bayer, 2022).
- Presentan propiedades singulares, como fuente de carbono directa, proteína, fibra y grasas, que son benéficas para el suelo; por otra parte, un residuo vegetal en estado seco contiene

macro y micro elementos esenciales en el desarrollo del cultivo.

- Las diversas técnicas de tratamiento a residuos orgánicos vegetales, representan múltiples beneficios al suelo y al ambiente y por ende a los agricultores directamente.
- En un 73% los residuos vegetales de un mercado, poseen compuestos atractivos desde el punto de vista biotecnológico, ya que son fuente directa de materia orgánica y agua, la cual es base para reproducción de microorganismos (Yépez, 2019, p. 8).

1.2.6. Sistema de compostaje

El compostaje tradicional es una técnica que se utiliza con el objetivo de resolver, en parte, la contaminación ambiental, minimizar el desarrollo de enterramientos sanitarios, depósitos a cielo abierto, vertederos controlados y quema de residuos orgánicos. Es una técnica económicamente recomendable cuando se manejan grandes cantidades de residuos orgánicos, lo que implica menores costos operativos; es un sistema oxigenado, por lo tanto, con menor producción de olor y un producto final estable.

El compostaje es un proceso productivo como cualquier otro, que puede tener limitaciones extrínsecas o intrínsecas. Dentro de las primeras (extrínsecas) se encuentran las de tipo político, social, económico y tecnológico y dentro de las segundas (intrínsecas), las limitaciones del mismo proceso y de los materiales susceptibles de compostarse (características físicas, contenidos de agua, materia orgánica, nitrógeno y contaminantes) (Campitelli, 2014a, p. 19).

El acortamiento del tiempo del proceso, la disminución de los requisitos de espacio y energía y de la seguridad higiénica son factores decisivos para el diseño de estos sistemas de compostaje. En general, los diferentes tipos de procedimientos de compostaje que existen son variaciones tecnológicas o comerciales de un mismo método. Se pueden clasificar los sistemas utilizados en dos grupos: abiertos y cerrados. En los primeros, el compostaje se realiza en pilas al aire libre, mientras que, en los segundos, la fase de degradación se realiza en reactores que pueden ser horizontales o verticales.

1.2.6.1. Compost

El compost reúne muchos nutrientes en forma proporcional. Al hacer posible que los residuos vuelvan en forma de nutrientes al suelo, el compost cumple una maravillosa función en los ciclos de la vida. El compost es también una forma de devolver a la tierra los nutrientes que ella nos ha aportado en alimentos. De no hacer compost estaríamos despilfarrando preciosos recursos y dejando que nuestras tierras se empobrezcan (Román, Martínez y Pantoja, 2015l, p. 88).

1.2.7. Etapas del compostaje

Las etapas o fases del proceso de compostaje van de acuerdo con la temperatura:

1.2.7.1. Fase mesófila

El material de partida comienza a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono (C) y nitrógeno (N) generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4,0 o 4,5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) (Román, Martínez y Pantoja, 2015a, p. 23).

1.2.7.2. Fase termófila o de higienización

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el N en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado (Román, Martínez y Pantoja, 2015b, pp. 23-24).

1.2.7.3. Fase de enfriamiento o mesófila II

Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de

varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Román, Martínez y Pantoja, 2015c, p. 24).

1.2.7.4. Fase de maduración

Considerada la última etapa del compostaje, por lo general dura de 3 a 9 meses dependiendo de las condiciones climáticas. Se caracteriza por la disminución de la temperatura llegando a la del ambiente en el que se encuentra la pila, lo que se refleja en una drástica reducción de los microorganismos y que el pH se vuelva cercano al valor neutro.

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román, Martínez y Pantoja, 2015d, p. 24).

1.2.8. Parámetros de control durante el proceso de compostaje

1.2.8.1. Relación entre carbono y nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos.

Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada para que el proceso se inicie, debido a que los microorganismos requieren aproximadamente 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. Esta relación varía en función de las materias primas utilizadas que conforman el compost, por lo tanto, se puede manejar la relación C/N a partir de la proporción de los materiales de partida en las mezclas. Si la relación C/N es muy elevada (mayor a 40), la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso. Una relación C/N muy baja genera pérdidas de nitrógeno por volatilización o por lixiviación. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los valores mencionados corresponden al carbono orgánico total y al nitrógeno total (Campitelli, 2014b, p. 36-37).

Esta relación disminuye a medida que el proceso de compostaje avanza alcanzando valores finales que dependen del material de partida, pero en general es posible considerar que el compost está maduro cuando la relación C/N llega a valores cercanos o menores a 20. Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1 (Román, Martínez y

Pantoja, 2015e, p. 29).

1.2.8.2. Nutrientes

La composición elemental del material de partida es fundamental para la correcta actividad de la población microbiana. Los microorganismos descomponen compuestos complejos generando otros más simples que, de esa forma, pueden asimilar. El carbono es utilizado por los microorganismos para generar la síntesis celular y constituye el 50% de las células de los microorganismos. Por otra parte, el nitrógeno es necesario para la reproducción celular y el fósforo es necesario en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo fundamental para el metabolismo microbiano. Los micronutrientes que están presentes en el material de partida, si bien son necesarios en menor cantidad, son fundamentales en la síntesis de enzimas, metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Campitelli, 2014c, p. 38).

1.2.8.3. Contenido de materia orgánica

La cantidad de materia orgánica (MO) total contenida en los compost puede oscilar entre un 25 y un 45 % sobre peso seco, dependiendo de los materiales de partida. El contenido de carbono, independientemente de los residuos de partida, es lo que hace que se los considere enmiendas orgánicas y es uno de los factores que determinan su calidad agronómica. Durante el avance del proceso de compostaje el contenido de MO tiende a descender debido a su mineralización y a la pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono. La disminución de la MO en una pila de compostaje suele ocurrir en dos etapas bien diferenciadas, una primera etapa que presenta una tasa de pérdida elevada debido a la mineralización de compuestos lábiles (carbohidratos y carbono hidrosoluble) y una segunda etapa de descomposición más lenta de la MO donde se descomponen los materiales carbonados más resistentes, como las ligninas. La velocidad de transformación de la MO depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones en que se lleve adelante el proceso (humedad, aireación, temperatura, pH, etc.) (Campitelli, 2014d, pp. 38-39).

1.2.8.4. Conductividad eléctrica

Los valores de CE que presenta un compost dependen no sólo de las características del material que se utiliza de partida por su concentración de sales, amonio y otros iones sino también de la calidad de agua que se utiliza para regarlo. Esta CE tiende a aumentar durante el proceso debido a la mineralización de la MO que aumenta la concentración de nutrientes (iones). La dosis que

puede aplicarse de un compost a un suelo agrícola o a un sustrato para plantas es muchas veces dependiente del contenido salino que posee, debido a que un exceso de salinidad afecta la absorción de agua por parte de las raíces (Campitelli, 2014e, p. 39)

1.2.8.5. Aireación

La aireación es un factor clave para el compostaje. Una aireación apropiada controla la temperatura, remueve el exceso de humedad y dióxido de carbono y provee de oxígeno para los procesos biológicos.

El compostaje es un proceso fundamentalmente aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial para el desarrollo de los microorganismos que intervienen. Al comienzo del proceso sería conveniente mantener espacios aireados en un rango de un 30-40%. El contenido de oxígeno óptimo se encuentra entre el 15 y el 20% al finalizar el proceso. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo, entre otros factores. En apilamientos estáticos el contenido de oxígeno se controla a través de la frecuencia de volteos.

Aunque se consiga una mezcla inicial “autoaireante” o se disponga de un sistema de aireación forzada, el volteo no debe eliminarse porque permite además reducir el tamaño de las partículas, homogenizar el material y redistribuir los microorganismos, la humedad y los nutrientes a la vez que expone nuevas superficies al ataque microbiano.

Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, siendo máxima durante la etapa termofílica. La garantía de un buen compost es que se produzca en condiciones aeróbicas. Durante la última etapa del proceso (etapa de maduración), no deben realizarse aportes adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados (Campitelli, 2014f, p. 40-41).

1.2.8.6. Humedad

El contenido de humedad tiene una influencia central sobre la biodegradación de los materiales. La presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso.

Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85 %

mientras que, para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60%. Es importante que durante el proceso se lleve a cabo el control de la humedad.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material. En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base. Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost, es aplicar la “técnica del puño” (Román, Martínez y Pantoja, 2015f, p. 27).

1.2.8.7. Temperatura

Al comienzo del proceso la pila está a temperatura ambiente y a medida que las poblaciones mesofílicas se multiplican, la temperatura crece rápidamente. Entre los productos que se forman en esta etapa inicial se encuentran los ácidos orgánicos de cadenas cortas que son los responsables de la disminución del pH. A temperaturas superiores a 40 °C la actividad mesofílica se detiene y comienza la etapa termofílica. A temperaturas superiores a 60 °C los hongos termofílicos mueren y la descomposición se lleva a cabo por bacterias formadoras de esporas y actinomicetes. A temperaturas elevadas se degradan ceras, proteínas y hemicelulosa.

Cuando los materiales fácilmente degradables se agotan la descomposición se torna más lenta y el calor que se genera es menor, como consecuencia comienza a enfriarse la pila. A temperaturas inferiores a 60 °C se produce una reinvasión de los hongos termófilos y comienza la degradación de la celulosa. Los procesos de degradación son más lentos y el calor decrece hasta alcanzar la temperatura ambiente. Estas etapas ocurren en un período relativamente corto (días o semanas) pero la etapa de maduración tiene lugar durante períodos más largos (meses). En la etapa de maduración tienen lugar reacciones químicas complejas (condensaciones y polimerizaciones).

Para conseguir la eliminación de bacterias patógenas, huevos de parásitos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida es necesario que el proceso atraviese una etapa de temperaturas elevada. A temperaturas muy altas (mayores de 65%), muchos microorganismos beneficiosos para el proceso mueren y otros no actúan al encontrarse en estado de esporas. En

cada rango de temperatura intervienen diferentes poblaciones microbianas (Campitelli, 2014g, pp. 43-47).

1.2.8.8. Potencial de hidrógeno pH

El pH tiene una influencia directa sobre el proceso debido a su acción sobre los procesos microbianos. En general, los hongos toleran un margen de pH entre 5 - 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia pH entre 6 - 7,5. En el inicio del proceso el pH puede sufrir un descenso debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica que produce una liberación de ácidos orgánicos. Si las condiciones son de anaerobiosis este descenso inicial es más marcado.

Posteriormente el pH puede subir a causa de liberación de amoníaco debido a la descomposición de las proteínas y la eliminación de los ácidos orgánicos. Al finalizar el proceso el pH se estabiliza tendiendo a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen capacidad de regular el pH (Campitelli, 2014h, pp. 48-49).

1.2.8.9. Tamaño de partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato.

El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm. La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³ (Román, Martínez y Pantoja, 2015g, p. 30).

1.2.9. Seguimiento de control del proceso de compostaje

1.2.9.1. Volteo de compostaje

Desde los inicios y por muchas décadas, el método más simple y adoptado para el volteo de las pilas de compostaje ha sido el de “pala frontal”. Todavía se utilizan extensamente en sistemas de pequeña escala en el procesamiento de residuos agrícolas y estiércol animal.

En los procesos de mayor escala e industrializados, la “pala cargadora frontal” se ha ido sustituyendo progresivamente por equipos diseñados especialmente para la aireación y/o volteo mecánico de la biomasa, en una amplia diversidad de sistemas, diseños y dimensiones (Docampo, 2013, p. 67).

Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (Román, Martínez y Pantoja, 2015h, p. 55).

Aireación: con este procedimiento se busca en primer lugar mejorar las condiciones aerobias del sustrato, lo mismo que favorecer la homogenización de la mezcla y lograr un proceso de estabilización. Este procedimiento se realiza cada dos meses, siendo un total de 3 volteos durante los seis meses (Román, Martínez y Pantoja, 2015i, p. 80).

Humedad: En la medida que se realiza los volteos se va adicionando agua en forma de aspersión, tratando de lograr aproximadamente un 65% de humedad en el material, para lo cual se realiza la prueba del puño (Román, Martínez y Pantoja, 2015j, p. 81).

La frecuencia de volteo en las pilas del compostaje deber estar determinada por la presencia de oxígeno. Para estos se han diseñado equipos que miden la presencia de oxígeno directamente al interior de la pila de compost, o en su defecto la presencia de CO₂. Se recomienda voltear cuando la concentración de CO₂ esté por encima del 8%. Si no se cuenta con el equipo adecuado, la frecuencia de volteo puede estar determinada por temperatura, que es un indicador indirecto de la actividad microbiana (Tixe y Ruiz, 2018b, p. 21).

1.2.9.2. Monitoreo de compostaje

El compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por diferentes microorganismos, para lo cual se debe tener en cuenta parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad del sustrato, temperatura, pH y la relación C/N (Román, Martínez y Pantoja, 2015k, p. 26).

1.3. Bases conceptuales

Abono

Un abono es todo producto capaz de suministrar uno o más de los nutrientes esenciales que la

planta requiere para su normal desarrollo: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, cobre, hierro, zinc, manganeso, molibdeno y cloro. Son sustancias o compuestos de origen abiógeno o biógeno que presentan alguna propiedad positiva para los suelos y cultivos (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020i, p. 7).

Enmienda

Es toda materia cuya acción fundamental es la modificación de las condiciones físico químicas del suelo, particularmente el pH del mismo (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020j, p. 8).

Fertilizante orgánico

Son productos que se producen de la descomposición de restos de materiales vegetales y/o animales. Contienen los elementos esenciales que forman parte de los compuestos orgánicos que se liberan según su degradación, debido a los microorganismos propios del suelo (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020k, p. 8).

Humus

Sustancia orgánica de composición compleja, muy estable, resultante de la acción final de los microorganismos sobre los restos orgánicos. Puede formar complejos con los minerales de arcilla “complejos arcillo-húmicos”, de gran estabilidad y que forman la base de la fertilidad duradera del suelo (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020l, p. 8).

Calidad de compost

La calidad del compost no es un concepto absoluto, sino que depende de los usos a que se destine, suele determinarse por dos vías diferentes:

- mediante experimentos de campo, en los que se mide la respuesta de las plantas en condiciones reales de cultivo a diferentes dosis de compost, en términos de producción de biomasa, crecimiento radicular, número de hojas o de flores, etc.
- midiendo un conjunto de propiedades, algunas de las cuales, como las organolépticas (olor, color, tamaño de partícula, presencia de elementos impropios tales como plásticos, vidrio, etc.) pueden evaluarse sensorialmente, mientras que las propiedades físicas, químicas y biológicas (densidad, porosidad, aireación, pH, conductividad eléctrica, nutrientes, metales pesados, contaminación bacteriológica, etc.), normalmente se determinan en el laboratorio (Ansorena y Merino, 2014, p. 4).

Pilas de compostaje

La pila debe ser armada preferentemente sobre una superficie impermeable, que cuente con una adecuada pendiente que permita escurrir los líquidos que se generan (lixiviados). Se deberá prever la recolección de dichos lixiviados. El tamaño de la pila puede ser muy variable, sin embargo, no es aconsejable que la misma sea muy alta ya que el peso del propio material genera en el interior de la pila lugares con baja aireación y dificulta el proceso. Asimismo, pilas demasiado pequeñas no logran independencia de las condiciones ambientales circundantes y por lo tanto no prospera el proceso. La pila debe ser regada para obtener condiciones adecuadas de humedad (Campitelli, 2014i, p. 28).

Volteo

El volteo ayuda a mantener la concentración de oxígeno, porosidad, temperatura y humedad uniforme en toda la pila ya que, los materiales próximos a la superficie tienden a recibir mayor aporte de oxígeno, pero alcanzan menos temperatura mientras que los materiales del interior poseen menos porosidad debido a la presión de los materiales que les rodean y alcanzan mayor temperatura y humedad (Jara, 2016a, p. 30).

Bacterias ácido lácticas

Las bacterias ácido lácticas (BAL) son un conjunto de microorganismos con un metabolismo fermentativo, que producen altos niveles de ácidos lácticos como resultado final de una descomposición. Las BAL transforman la materia orgánica en micropartículas, que son fácilmente absorbidas por las raíces de las plantas (Andrade, 2016, p. 17).

1.4. Base legal

La legislación que se aplica al presente proyecto se base en la gestión integral de los residuos sólidos orgánicos en la producción de compost, buscando iniciar e incentivar buenas prácticas ambientales.

El 30 de abril de 2019, el Consejo Municipal de Riobamba expidió la ordenanza que regula la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Riobamba, en uso de los derechos que le confiere el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. Consta de cinco títulos, siete capítulos, setenta y un artículos, cinco disposiciones generales, cuatro disposiciones transitorias, una disposición derogatoria y una disposición final.

Tabla 1 - 1: Marco legal aplicable para residuos sólidos

	Artículos aplicables en el presente trabajo	
	Artículos	Numerales / Literal/Parágrafo/ Política/ Capítulo
Constitución de la República del Ecuador (R.O. No. 449, 2008-10-20)	1 y 3	N: 4-5, 7 y 8
	10, 14, 15; 30 - 32, 66, 71 - 74, 83, 263 - 264	N: 1-4
	275, 276, 277	N: 1
	395	N: 2
	395, 396, 397	N: 1 – 3
	398 – 399, 408, 411, 413 – 415	N: 1 – 6
Políticas Nacionales de residuos sólidos	32 – 33	-----
Ley Orgánica de Salud (Ley 67, Suplemento R.O. 423, 2006/12/22)	1, 3, 6, 11, 95 – 98, 100, 104, 117 – 118	-----
Ley Forestal y de Conservación de áreas naturales y vida silvestre codificación 2004-017 R.O. N"418; septiembre 10 de 2004	1 – 5	L: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j
	6	L: a, b, c, d, e, f, g
	7-10, 12 – 13, 16, 23 – 24, 29	L: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j
	50 – 51	L: a, b, c, d, e, f
	52, 54 – 62, 64, 71 – 72, 75, 80, 89	-----
Ley del Régimen Municipal	3,5,12	-----
COOTAD (R.O. 2010/10/15)	7, 54	L: j
	55, 57	L: a
	87	L: a
	84	L: k
	116, 136, 137, 263	C: 1 – 8
	264	C: 1 – 14
	267	C: 1 – 8

Ministerio de Ambiente. Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Año II - N°316 Quito, lunes 4 de mayo de 2015.	47	Capítulo: VI
	55 – 59	S: I
	60 – 61	Parágrafo: I
	62	Parágrafo: II
	63 – 65	Parágrafo: III
	66 – 68	Parágrafo: IV
	69 – 72	Parágrafo: V
	73	Parágrafo: VI
	74	Parágrafo: VII
Ordenanza que regula la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Riobamba / 009-2019	75 – 77	Parágrafo: VIII
	7,12	Capítulo: I
	14, 20, 21, 23, 24, 25	Capítulo: II
	40	Capítulo: IV
Norma INEN 3864 (2013/09/27)	41,45	Capítulo: V
	Ítem: 1-6	-----
Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”	Objetivo 3	Política 3.4
		Política 3.4
Código Orgánico del Ambiente (COA)	9	-----
	27	N: 7
	224	-----
	226	-----
Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	587	-----
	593 – 594	-----
	668	L: h y i
Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria (LORSA)	1	-----
	14	-----

Fuentes: (Tixe y Ruiz, 2018d, pp. 29-30) y (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020m, pp. 3-5)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021.

1.4.1. Marco legal referente al compostaje

Para obtener y determinar si un compost es de buena calidad, se hace referencia a la Normativa

Internacional y la Normativa Ecuatoriana.

1.4.1.1. Legislación internacional

Se toma como referencia la Normativa española en su Real Decreto 06/2013, el cual trata los fertilizantes. Se subdivide al compost en tres grupos por composición:

- Compost A: considerado un abono orgánico de alta calidad, producido por medio de técnicas de manejo de humedad, es apto para ser aplicado directamente en el suelo a tratar.
- Compost B: es la parte del compost A que no presenta características de alta calidad, pese a ser elaborado con los mismos procesos tiende a retener menos humedad. Necesita de nutrientes extras para ser aplicado.
- Compost joven (inmaduro): es un compost que no ha llegado a las etapas de enfriamiento y de maduración, por lo que es considerado de baja calidad al carecer de nitrógeno. Es necesario mezclarlo con material rico en nitrógeno para su aplicación.

Tabla 2 - 1: Límites máximos permisibles de parámetros para considerar un compost de calidad con base en la normativa chilena

Parámetros	Calidad del Compost	
	Clase A	Clase B
Físicos		
CE (mmho/cm)	≤ 5	5 – 12
pH	5 – 7,5	7,5 – 8,5
Químicos		
% MO	≥ 45	≥ 25
C/N	10 – 25	10 – 40

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2003a, pp. 13-14)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021.

Las materias primas para compostaje deben presentar un nivel de elementos traza, no mayor a los valores establecidos en la Tabla 3-1.

Tabla 3 -1: Contenido máximo de elementos traza en materias primas para compostaje

Elementos traza	Contenido máximo (mg/kg) base seca
Cadmio	10
Cromo	1 000
Cobre	1 000
Mercurio	10
Níquel	200
Plomo	800
Zinc	3 000
Cromo + Cobre + Níquel + Zinc	4 000

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2003b, p. 9)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021.

Todas las clases de compost, a excepción de aquellos producidos a partir de lodos, deben cumplir con los requisitos de concentración máxima permitida de metales pesados, indicados en la Tabla 4-1.

Tabla 4 - 1: Concentraciones máximas de metales pesados en compost

Metal pesado	Concentración máxima mg/kg de compost (base seca)
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Molibdeno	2
Níquel	20
Plomo	100
Selenio	12
Zinc	200
1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.	

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2003c, p. 12)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

1.4.1.2. Normativa ecuatoriana

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

- h) En el compost se pueden utilizar microorganismos y plantas como base. No se permitirá el uso de ciertas enmiendas.
- i) Indica los procedimientos para un correcto compostaje a base de estiércol, con el fin de evitar la contaminación por patógenos y precautelar la salud humana (Agrocalidad, 2013a)..

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

Tabla 5 - 1: Apartados del anexo 1

Residuos domésticos compostados o fermentados	Producto obtenido a partir de residuos domésticos separados en función de su origen, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás. Únicamente residuos domésticos vegetales y animales. Únicamente cuando se produzcan en un sistema de recogida cerrado y vigilado, aceptado por el estado miembro. Concentraciones mg/kg de materia seca: cadmio: 0,7; cobre 70; níquel: 25; plomo:45; zinc: 200; mercurio: 0,4; cromo total: 70; cromo VI:0
Mezclas de materias vegetales compostadas o fermentadas	Producto obtenido a partir de mezclas de materias vegetales, sometidos a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás

Fuente: (Agrocalidad, 2013b, pp. 157-158)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño experimental

2.1.1. *Tipo de investigación*

El presente estudio presentó varias características que lo identificaron, a continuación, se mencionan algunas de ellas:

Por el método de investigación es mixta, implica la combinación de los enfoques cualitativo y cuantitativo en el estudio. Cualitativa porque permitió determinar las cualidades del producto y su estado físico; cuantitativa porque durante el proceso de compostaje y en el análisis de su calidad se obtuvieron datos de temperatura, pH, CE, humedad, NPK, volteos que permiten evaluar los resultados obtenidos al final de la investigación.

Por el objetivo es aplicada porque busca el aprovechamiento de los residuos vegetales del mercado, mediante el proceso de compostaje y obtener así un sustrato (compost), de esta forma se minimizan problemas como la contaminación ambiental y se alarga la vida útil del relleno sanitario.

Por el periodo temporal es longitudinal se midió y recolectó datos a lo largo de un determinado tiempo, para monitorear la evolución del proceso y realizar los análisis posteriores.

2.1.2. Localización del estudio

Tabla 6 - 2: Ubicación geográfica del proyecto de compostaje

Investigación: influencia de la frecuencia de volteo en la calidad del compost de residuos vegetales de la EP- EMMPA.		
País:	Ecuador	
Provincia:	Chimborazo	
Cantón:	Riobamba	
Parroquia:	Cubijés	
Comunidad:	San Jerónimo de Porlón	
Altura:	2685 msnm	
Coordenadas	Este:	Norte:
UTM (WGS84):	767644,8	9815772,9

Fuente: Google Earth

Realizado por: Quillay, Katherin 2021.

2.1.3. Población de estudio

La población del presente estudio fueron los residuos vegetales generados en EP –EMMPA y los gestionados en el Relleno Sanitario de Porlón (poda).

2.1.4. Tamaño de la muestra

No se calculó el tamaño de la muestra, debido a que se trabajó con todas las muestras recolectadas

durante el desarrollo del experimento, se tomaron una muestra de cada unidad experimental por volteo.

2.1.4.1. Selección de la muestra

El tipo de muestreo de la investigación fue el de cuarteo, con la finalidad de tener muestras representativas para su posterior análisis.

2.1.5. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos, se utilizaron las técnicas documental y observacional:

- Control de temperatura y humedad dos veces por semana
- Análisis de las muestras en el laboratorio
- Registro y tabulación de los datos en Excel
- Comparación de los resultados con normativas de calidad
- Análisis estadístico t-student

2.1.5.1. Análisis estadístico

En esta investigación para el análisis estadístico se aplicó el coeficiente de variación para conocer si existió dispersión entre los datos tomados; y la prueba t-student para conocer si existieron diferencias significas entre las medias de los tratamientos. Asimismo, se utilizó los softwares Google Earth para la ubicación de la zona de estudio.

El análisis posterior de los datos se lo realizó mediante una estadística descriptiva en la cual se utilizaron gráficos (temperatura, pH, humedad, CE, MO, IG).

2.2. Diseño experimental del proceso de compostaje

2.2.1. Maquinaria, materiales, equipos utilizados en la elaboración y monitoreo de las pilas

2.2.1.1. Maquinaria y equipos

- Higómetro 3 en 1 THREE- WAY METER
- Termómetro para compost y semisólidos con 2 canales con forma de (T) modelo HANNA

(HI935002)

- Balanza
- Volteadora de túnel autopropulsada FDJ-L2400
- Mini cargadora

2.2.1.2. Materiales

- Pala
- Rastrillo
- Overol
- Botas
- Guantes de jardinería
- Sacos
- Fundas Ziploc
- Rotulador
- Franela

2.2.2. Preparación del material orgánico

Los residuos vegetales del EP-EMMPA fueron recolectados todos los lunes y miércoles desde el 17 de mayo de 2021 hasta el 7 de julio, las zonas de interés fueron las naves 0, 1 y 2 donde se comercializan productos vegetales (lechuga, brócoli, cebolla, col, zanahoria, remolacha, etc.) generando la mayor cantidad de residuos vegetales. El personal de aseo del mercado se encargó de separar los impropios de los residuos vegetales, una vez separados el carro recolector destinado únicamente para llevar los residuos del mercado los transportó al área destinada para el estudio, área de compostaje en el Relleno Sanitario de Porlón del cantón Riobamba, se recolectaron aproximadamente 30 toneladas de residuos vegetales.

Los residuos de poda provinieron de los distintos parques de la ciudad de Riobamba incluyendo de los jardines de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Figura 1 - 2: Preparación del material.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

2.2.3. *Determinación de la relación C/N*

Para armar la pila se consideró la relación C/N, tomando en cuenta los parámetros de humedad, carbono orgánico y nitrógeno total. Con los resultados obtenidos y con la ayuda de una calculadora C/N en internet (<http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>) se calculó la relación C/N, tomando en cuenta que el rango aceptable según bibliografía es de 25 a 35, en este estudio la relación C/N fue de 26,95.

Calcule la relación C/N para tres materiales

Este cálculo resuelve la proporción de carbono a nitrógeno de hasta tres materiales. Ingrese la masa de cada material (peso húmedo), porcentaje de carbono, porcentaje de nitrógeno y porcentaje de humedad, luego haga clic en el botón calcular. Si tiene menos de tres materiales, asegúrese de ingresar ceros en los campos para los materiales faltantes.

Nota: use números enteros

Ingrediente	% H2O	Peso	% Carbono	% Nitrógeno	Relación C/N
PODA	18	1	42.44	1.23	
MERCADO	70	9	45.95	1.81	
NADA	0	0	0	0	
				Resultado:	26.94650247642

Calcular Reset

Figura 2 - 2: Cálculo de la relación C/N.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

2.2.4. *Formación de las pilas*

Una vez recolectados los residuos vegetales y de poda, se procedió a la formación de una pila inicial (PI). Mediante la ayuda de una cargadora se armó la pila por capas, por una capa de residuos vegetales, una capa de poda, con la finalidad de que las proporciones de los materiales sean las adecuadas. La pila tuvo una forma trapezoidal de 2 m de ancho, 12 m de largo y 1,5 m de alto y un peso aproximado de 33,5 toneladas, ubicada en un espacio sin cubierta.



Figura 3 - 2: Formación de pila (PI).

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

Después de dos meses de haber iniciado el proceso de compostaje se siguió con la siguiente etapa del estudio, a partir de la PI se formaron dos nuevas pilas (P1 y P2) con la ayuda de una minicargadora. Cada pila tenía forma trapezoidal y 1 m de ancho x 1,5 m de alto x 11 m de largo. Se ubicaron en iguales condiciones ambientales, en un espacio sin cubierta.



Figura 4 - 2: Formación de pilas (P1 y P2).

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

2.2.5. Registro de la temperatura y humedad

En la primera etapa durante los dos primeros meses desde la formación de PI se controlaron los parámetros dos veces por semana (martes y viernes) en cinco puntos elegidos.

La temperatura registrada dio lugar a las fases mesófila y termófila, las mismas que indican que el proceso de compostaje se desarrolló correctamente.

La humedad estuvo entre el rango ideal para el inicio del proceso de compostaje.



Figura 5 - 2: Registro de T° y %H primera fase.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

En la segunda etapa se controló la temperatura y la humedad de cada pila (P1 y P2) dos veces por semana (lunes y jueves) en cinco puntos elegidos.



Figura 6 - 2: Control de T° y %H segunda fase.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

Para medir la temperatura se empleó un termómetro para compost y semisólidos con 2 canales en forma de (T) modelo HANNA (HI935002) con una precisión $\pm 0,3$ °C que mide la temperatura a 70 cm.

La humedad se midió con el higrómetro 3 en 1 THREE- WAY METER que toma medidas a 20 cm de profundidad, señala tres zonas, la zona seca de color rojo, la óptima de color verde y la muy húmeda de color azul, la mayoría de los datos se registraban en la zona verde y azul.

Al final del registro de los datos de temperatura y humedad se retiraban los impropios (botellas, fundas plásticas, piolas, cartones, ramas, troncos, piedras, etc.) presentes en la pila que afectaban al proceso degradativo.

2.2.6. Volteos (frecuencia)

Los volteos se realizaron de forma mecánica mediante una máquina de túnel autopropulsada FDJ-L2400 donada al municipio de Riobamba por parte Comité Europeo para la Formación y la Agricultura (CEFA) a través del Programa Cadenas de Valor, entidad que forma parte de un convenio interinstitucional entre el GADMR, ESPOCH Y EP-EMMPA, con la finalidad de elaborar abono orgánico (compost) aprovechando los residuos vegetales recolectados del EP-EMMPA y de la poda de parques y jardines.

Se estableció para cada pila una frecuencia de volteo diferente; P1 los volteos una vez cada 15 días (6 volteos durante 2 meses) y para la P2 los volteos se realizaron 2 veces por semana con un total de 23 volteos en el mismo período.



Figura 7 - 2: Volteo de pilas (P1 y P2).

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

2.2.7. Toma de muestras

La toma de muestras para determinar pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, macronutriente (NPK) y Índice de germinación fueron tomadas al inicio del proceso cuando se formaron las pilas y antes de cada volteo. Basándose en las normas INEN 220:2013 se tomaron cinco submuestras de diferentes puntos de la pila colocándolas en una superficie plana y limpia, se retira los impropios (piedras, plástico, vidrio), una vez limpia se formó la muestra global de forma cónica y se empleó el método de cuarteo, este proceso se repitió hasta obtener una muestra representativa requerida. En total se tomaron treinta y dos muestras. Las muestras fueron colocadas en fundas ziploc, una vez selladas fueron etiquetadas.



Figura 8 - 2: Toma de muestra.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2021

2.2.8. Análisis físico-químicos y químicos

2.2.8.1. Preparación de las muestras

- Las muestras fueron preparadas el mismo día que se las tomó.
- En un vaso de precipitación se colocó 200 g de muestra, se dejó secar en estufa a 105°C por 24 horas, los resultados fueron reportados sobre base seca.
- Se pasó al desecador hasta que se enfríen por un tiempo aproximado de media hora.
- Se trituró la muestra hasta obtener una granulometría mayor a la de la harina de 450 μm .
- Se pasó al frasco estéril etiquetados hasta el día de su análisis.
- Para su análisis se coloca nuevamente la muestra en un vaso de precipitación y se lo lleva a la mufla por 2 horas a 105 °C, se deja enfriar en el desecador por media hora y se procede a su análisis.



Figura 9 - 2: Preparación de muestra.
Realizado por: Quillay, K. 2021

2.2.8.2. Determinación de materia orgánica

Tabla 7 - 2: Determinación de materia orgánica

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS		PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Materia Orgánica	El contenido final de MO será la consecuencia del valor inicial, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento. Resulta fundamental examinar, en un compostaje, los contenidos inicial y final de materia orgánica para tener idea de la transformación sufrida por el material en porcentaje.	Equipos	- Estufa - Mufla - Balanza Analítica	<ul style="list-style-type: none"> • Enumerar los crisoles y llevarlos a la estufa a 105 ° C por 2 horas. • Sacar los crisoles de la estufa, dejarlos enfriar en el desecador por 30 minutos o hasta temperatura ambiente. • Pesar en la balanza analítica cada crisol, anotar su peso. • Colocar 3g de muestra en cada crisol y anotar su peso. • Encender la mufla y esperar a que llegue a 430 ° C, colocar las muestras y dejar calcinar por 24 horas. • Pasada las 24 horas apagar la mufla y dejar que se enfríe por 1 hora, retirar los crisoles y colocar en el desecador por 30 minutos. • Pesar cada crisol y anotar su peso. • Determinar el porcentaje de materia orgánica utilizando su fórmula matemática. • Proceso por duplicado. 	<p>Fórmula:</p> $\%MO = \frac{C_2 - C_0}{C_2 - C_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p>C₂= Peso crisol + muestra seca</p> <p>C₀= Peso crisol + muestra calcinada</p> <p>C₁= Peso crisol vacío</p>
		Materiales	- Desecador - Crisoles - Pinza para crisoles - Espátula de laboratorio		

Fuente: (Soliva y López, 2004)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

2.2.8.3. Determinación de pH

Tabla 8 - 2: Determinación de pH

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS		PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
pH	El pH de una muestra se fundamenta en la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo es función de las actividades de iones hidrógeno a ambos lados de la membrana, utilizando como referencia un electrodo de calomelanos con puente salino. Se determina mediante análisis electrométrico o potenciométrico.	Equipos	- pH-metro Fisher Scientific XL150 - Balanza Analítica -Agitador magnético (shaker)	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 4 g de muestra y colocar en un vaso de precipitación y etiquetar. • Agregar 40 ml de agua destilada (relación 1:10) • Colocar la solución en los tubos cónicos y etiquetarlos • Agitar los tubos en el shaker por 10 minutos a 300 rpm para que se homogenice. • Dejar sedimentar. • Calibrar con los estándares el pH – metro. • Medir colocando los electrodos dentro de los tubos y esperar hasta que se estabilice y anotar los datos. • Entre cada medición se enjuaga con agua destilada y se seca con papel los electrodos. • Proceso por duplicado. 	Lectura directa
		Materiales	- Vasos de precipitación de 50 ml - Tubos cónicos de 50 ml - Piseta - Probeta de 50 ml - Etiquetas		
		Reactivos	- Agua destilada		

Fuente: (Verdú Belmonte, Soraino Soto y Sancho Civera, 2004a, p. 85)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

2.2.8.4. Determinación de conductividad eléctrica (CE)

Tabla 9 - 2: Determinación de conductividad eléctrica

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS		PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Conductividad Eléctrica	La determinación de la conductividad eléctrica se utiliza normalmente para indicar la concentración total de componentes ionizados en las soluciones. Las sales solubles en el suelo determinan la presencia en solución de una serie de combinaciones de los cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio y los aniones: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, etc. El valor de la conductividad está relacionado con la suma de los cationes (o aniones) y en general tiene correlación con los sólidos totales disueltos.	Equipos	- Multiparámetro Thermo Scientific ORION VERSASTAR PRO - Balanza Analítica - Agitador magnético (shaker) - Centrífuga	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 4 g de muestra y colocar en un vaso de precipitación y etiquetar. • Agregar 40 ml de agua destilada (relación 1:10) • Colocar la solución en los tubos cónicos y etiquetarlos • Agitar los tubos en el shaker por 10 minutos a 300 rpm para que se homogenice. • Centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm. • Filtrar la solución utilizando un embudo y papel filtro. • Calibrar el conductímetro. • Medir colocando el electrodo en la solución, esperar a que se estabilice y anotar. • Entre cada medición se enjuaga con agua destilada y se seca el electrodo • Proceso por duplicado. 	Lectura directa
		Materiales	- Vasos de precipitación de 50 ml - Tubos cónicos de 50 ml - Piseta - Probeta de 50 ml - Etiquetas - Papel filtro - Embudo		
		Reactivos	- Agua destilada		

Fuente: (Verdú Belmonte, Soraino Soto y Sancho Civera, 2004ab, p. 91)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

2.2.8.5. Determinación de NPK

Tabla 10 - 2: Determinación de NPK

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS		PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
NPK	<p>N: Para la estimación de nitrógeno amoniacal por colorimetría se emplean dos procedimientos: 1) el método Nessler y 2) el método azul de indofenol. En este estudio se empleó el método de Nessler que generalmente es usado en muestras vegetales, pero en algunos casos es empleado en muestras de suelos. El inconveniente de utilizar el método Nessler en muestras de suelo es que la sensibilidad es limitada. Este método fue descrito en los procedimientos para determinar nitrógeno, es el más comúnmente utilizado.</p> <p>P: Para evaluar la disponibilidad de P en los suelos diversos procedimientos han sido propuestos, los cuales extractan diferentes</p>	Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza Analítica - Reverbero - pH metro - Espectrofotómetro de absorción atómica Ice 3300 - Espectrofotómetro UV Thermo Fisher Scientific Model Evolution 220 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 0,5 g de muestra en un Erlenmeyer de 250 ml. • Agregar 10 ml de ácido sulfúrico y agitar. • Colocar la muestra en el reverbero a temperatura media alta hasta que la solución quede transparente. • Colocar hasta 50 ml de agua ultrapura y filtrar • Aforar a 100 ml y colocar la solución en frascos etiquetados. <p>Fósforo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar 5 ml de lo digestado y adicionó 50 ml de agua. • Agregar 2 gotas de fenolftaleína. • Medir el pH, adicionar poco a poco Hidróxido de Sodio hasta que el pH este entre 2.5 – 3. • Aforar a 100 ml. • Colocar en los tubos de ensayo 5 ml de la muestra. 	Lectura directa
		Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitación de 100 ml - Balones de aforo de 50 ml - Erlenmeyer de 250 ml - Piseta - Probeta de 50 ml - Etiquetas - Papel filtro 		

Continuará...

Continúa

	<p>cantidades de P dependiendo del tipo de solución utilizada.</p> <p>De manera general, los extractantes pueden ser divididos en:</p> <p>a) Soluciones diluidas de ácidos fuertes (HCL, HNO₃, H₂SO₄).</p> <p>b) Soluciones diluidas de ácidos fuertes+ iones acomplejantes (ej: fluoruro.</p> <p>c) Soluciones diluidas de ácidos débiles (cítrico, láctico, acético).</p> <p>d) Soluciones amortiguadoras alcalinas (bicarbonato de sodio).</p> <p>K: Ha este macronutriente se lo lee directamente en el extracto obtenido usando algunas técnicas como de emisión de llama en el espectrofotómetro de absorción atómica usando llama, absorción atómica, longitud de onda.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Embudo - Tubos de ensayo - Agitador - Frasco de muestra de orina 	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar los reactivos de color, esperar 15 minutos para desarrollo de color • Leer en el espectrómetro a 880 nm. 	
		Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada ultrapura - Ácido Sulfúrico - Fenolftaleína - Hidróxido de Sodio - Reactivo de Nessler - Reactivo de color 	<p>Potasio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparar las siguientes soluciones a 0,4 0,8; 1,6; 2; 4 del estándar. • Colocar en balones y aforar a 50 ml. • Tomar 2 ml y aforar a 50 ml. • Mediante espectrofotometría UV visible se da lectura. <p>Nitrógeno</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se realiza el mismo proceso del fosforó hasta tener un pH de 2.5-3. • Tomar 10 ml de la solución en tubos y añadir 3 gotas de tartrato de sodio y potasio y de alcohol polivinílico. • Adicionar 0,3 ml de reactivo de Nessler, agitar y esperar 5 minutos. • Lectura mediante espectrofotometría de absorción atómica. 	

Fuente: (López Aguilar et al., 2002, pp. 33-37) (Salinas y García, 1979, p. 41)

Realizado por: Quillay, Katherin. 2022.

2.2.9. Análisis biológico y microbiológico

2.2.9.1. Determinación de índice de germinación (IG)

Tabla 11 - 2: Determinación de índice de germinación

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS		PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Índice de Germinación	La prueba de germinación tiene como finalidad determinar la viabilidad de un lote de semillas, la cual se determina a través del porcentaje de semillas que tienen la capacidad de generar plántulas normales, bajo condiciones óptimas de luz, agua, aire y temperatura. La prueba de germinación "estándar entre papel" se desarrolla en condiciones de laboratorio, consiste en evaluar la semilla tratada con la solución y un blanco en condiciones controladas de humedad, temperatura y luz, para determinar el porcentaje de elongación que determinan la capacidad germinativa.	Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza Analítica - Agitador magnético - Centrifuga - Incubadora - Bomba de vacío 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesarse 3 g de muestra y se añaden 4,5 ml de agua (60% humedad) para dejar reposar por 30 minutos. • Añadir 13,5 ml de agua ultrapura por gramo de muestra, diluir hasta el 10%. • Agitar en el agitador magnético por 30 minutos. • Centrifugar a 4000 rpm durante 10 minutos. • Filtrar al vacío con papel filtro • Rotular en la base las cajas Petri y colocar papel filtro (10 cajas por muestra). • Con una pinza o usando guantes colocar 8 semillas de rábano en cada caja. • Añadir 2 ml de la solución, empapando el papel en su totalidad. • Realizar un blanco añadiendo 2 ml de agua ionizada. 	Fórmula: $IG(\%) = \frac{PGR * CRR}{100}$
		Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitación de 100 ml - Balones de aforo de 50 ml - Erlenmeyer de 250 ml - Piseta - Probeta de 50 ml - Etiquetas - Papel filtro - Embudo - Tubos de ensayo 		$PGR(\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas en la solución}}{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas en el blanco}} * 100$ $CRR(\%) = \frac{\text{Elongación de radícula en la solución}}{\text{Elongación de radícula en el blanco}} * 100$

Continúa

			<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitación de 50 ml - Kitasato de 250 ml - Pipeta digital de 1 ml - Probeta de 50 ml - Tubos cónicos - Papel filtro - Papel aluminio - Etiquetas - Embudo Buchner - Cajas Petri - Magnetos - Semillas de rábano - Pie de rey digital 	<ul style="list-style-type: none"> • Envolver las cajas con papel aluminio en grupos de 5 cajas • Incubar las cajas Petri a 28 °C por 48 horas. • Luego de transcurrido el tiempo sacar las cajas y detener el crecimiento de las semillas añadiendo una solución de etanol al 50%. • Medir la elongación de las raíces de las semillas por caja con el pie de rey. • Aplicar las fórmulas del índice de germinación. 	<p>Donde:</p> <p>IG: Índice de germinación.</p> <p>PGR: Porcentaje de germinación relativo de semillas.</p> <p>CRR: Porcentaje de elongación relativo de la raíz.</p>
		Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada y Ultrapura - Etanol al 50% 		

Fuente: (García et al., 2016, p. 132)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

2.2.9.2. *Determinación de bacterias ácido lácticas en los residuos vegetales*

Tabla 12 - 2: Determinación de bacterias ácido lácticas

FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS		PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<p>El grupo de bacterias ácido lácticas (BAL) comprende bacterias Gram (+), no esporuladas, de morfología bacilar o cocoide, anaerobios (aerobios tolerantes), cuyo principal producto de fermentación es el ácido láctico² y que además se caracterizan por desarrollar su metabolismo a pH bajo, hasta 4.7.</p> <p>Las bacterias del ácido láctico (BAL) son un grupo heterogéneo de bacterias Gram positivas que comparten la característica de generar ácido láctico como producto del metabolismo fermentativo. Esta característica es lo que ha llevado a los taxónomos a agruparlos en una misma categoría. El ácido láctico producido por estas bacterias es un excelente conservador de alimentos y nutrientes, ampliamente aceptado por los humanos y los animales.</p>	Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza Analítica - Autoclave - Cámara de Flujo - Estufa - Refrigerador 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar la muestra, etiquetarla y llevarla al laboratorio. • Tomo 10 g de la muestra en 90 ml de agua de peptona. • Realizar diluciones de la muestra a la 10⁻⁶ por duplicado. • Preparar el medio (agar MRS), 20 ml por caja. • Añadir al medio Ácido Acético 5 M • Llevar al autoclave el medio, las cajas. • Añadir Cicloheximida al medio en baño maría a 45 ° C. • Colocar 20 ml del medio en las cajas Petri y dejar enfriar hasta que se solidifique. • Sembrar mediante la técnica de agotamiento. • Colocar dentro de una jarra hermética las cajas, sin oxígeno. • Llevar a la estufa por 24 horas a 37 °C. 	Lectura directa
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Cajas Petri - Pipeta - Pera de succión - Mechero - Asa de siembra - Papel Aluminio - Papel Periódico - Cinta adhesiva - Probeta de 25 ml, 100 ml - Erlenmeyer de 250 ml - Rotulador - Espátula 			

Continuará...

Continúa

<p>Los estudios genéticos de bacterias de los géneros Lactobacillus y Streptococcus, debido a su rápido desarrollo, permiten aislar, modificar y transferir gran número de caracteres genéticos de interés tecnológico, como ser: resistencia a fa90s; producción de aromas y sabores derivados del metabolismo secundario de estas bacterias.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Tubos de ensayo - Gradilla - Palillos estériles - Porta y cubre objetos - Vela - Jarra hermética 	<ul style="list-style-type: none"> ● Realizar ensayos de Tinción Gram, Catalasa para comprobar si las colonias son de bacterias ácido lácticas. ● Una vez identificadas las colonias de BAL realizar el enriquecimiento con caldo MRS. ● En los tubos se colocan 5 ml del caldo y se lleva a autoclave. ● Sembrar en los tubos con un asa recojo una colonia de cada caja. ● Llevar a la estufa por 24 horas a 37 °C. ● Repetir el proceso si se quiere si se requiere aislar las colonias para que sean puras.
	<p>Reactivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Peptona - Agar MRS - Ácido Acético 5M - Cicloheximida - Peróxido de Hidrógeno - Caldo MRS - Cristal violeta - Lugol - Acetona etanol - Safranina 	

Fuente: (León et al., 2005, p. 2)(Levin Fiorelli, 2003, p. 10)

Realizado por: Quillay, Katherin. 2022

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de resultados

3.1.1. Caracterización de parámetros físico-químicos y químicos iniciales

Tabla 13 - 3: Caracterización inicial de parámetros físico-químicos y químicos

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA INICIAL (PI)
pH		8,28
Conductividad Eléctrica	dSm ⁻¹	3,7
Humedad	%	70,0
Materia Orgánica	%	68,1
Nitrógeno Total	%	2,0
Fósforo	%	0,6
Potasio	%	1,77
Carbono Orgánico	%	36,6

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

En la tabla 13-3 se indica la caracterización físico-química de la muestra inicial de PI (residuos vegetales y poda). Los resultados obtenidos fueron similares a los de la muestra inicial de la pila de compostaje a partir residuos sólidos orgánicos generados en el ESPOCH (Valencia, 2016, p. 52) y de la pila con residuos vegetales del Mercado Mayorista del Cantón Riobamba (Jiménez, 2015b, p. 74).

3.1.2. Variación de temperatura

El compost se obtuvo en 186 días, la formación de las dos pilas fue después de 60 días de haber iniciado el proceso, la fase degradativa duró 151- 154 días, la fase la de maduración duró 32- 35 días.

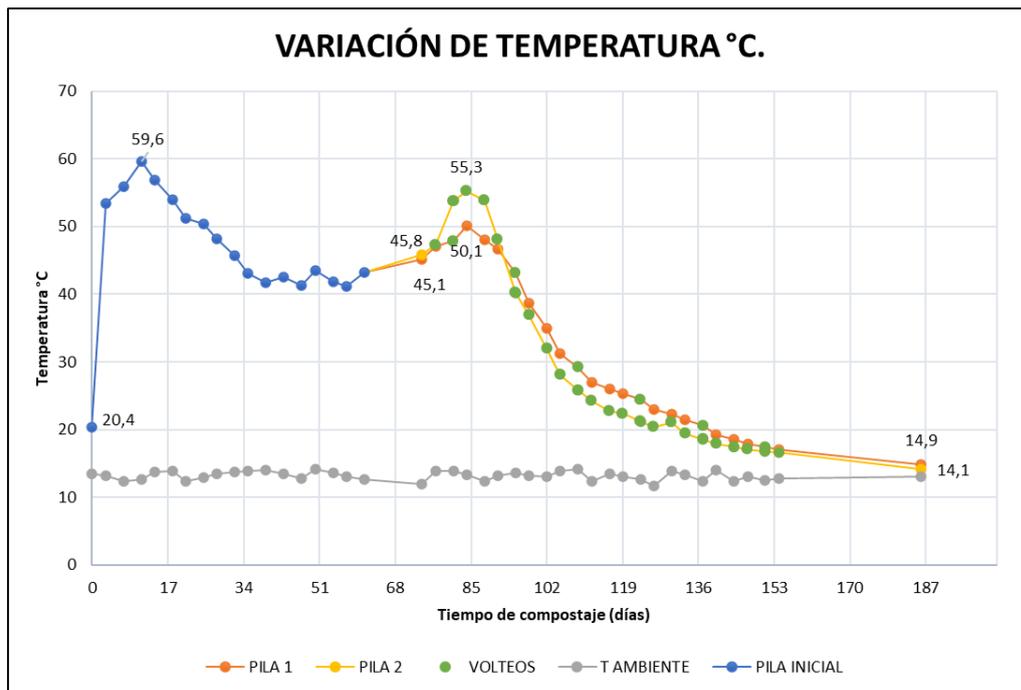


Gráfico 1 - 3: Variación de temperatura.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022

La temperatura es uno de los parámetros más importantes ya que permite el monitoreo del proceso compostaje. En la primera etapa del proceso la pila inicial (PI) luego de ser armada marcó una temperatura de 20,4 °C, a los 11 días llegó a su máxima temperatura 59,6 °C, la fase termófila duró 32 días con temperaturas entre 45,7 °C y 59,6°C, durante este tiempo los microorganismos degradaron fuentes complejas de C, generando calor. Mientras que a temperaturas mayores a los 55° C se produjo una higienización, se eliminaron microorganismos patógenos y semillas de adventicias (Román, Martínez y Pantoja, 2015o, p. 23). En los 29 días posteriores la temperatura empezó a bajar debido a la reducción de la actividad microbianas causada por el insuficiente suministro de oxígeno al no ser volteada.

En la segunda etapa del proceso se registraron temperaturas para la P1 entre 45,1 - 50,1 °C, y para la P2 entre 45,8 – 55,3 °C siendo los últimos los picos más alto, dándose lugar nuevamente la fase termófila que duró 17 días. En la P2 se incrementó la temperatura y se alcanzó picos más altos, los microorganismos degradadores se activaron aumentando la velocidad degradación, se oxigenó la pila, se homogeneizó el material y mejoraron las condiciones de higienización, como lo menciona (Costa et al., 2016a, p. 1213; citado en Carneiro et al., 2013), debido posiblemente al mayor número de volteos.

La temperatura de la P1 en la etapa de enfriamiento, fue entre 17,0 – 40,4 °C y para la P2 entre 16,6 y 40,2°C durante 59 días. La P2 en la que se realizó 14 volteos alcanzó una temperatura casi constante en menos tiempo que P1 con 4 volteos. En esta fase se agotaron las fuentes de carbono y nitrógeno, dando lugar a la degradación de polímeros y aparición de algunos hongos visibles. La influencia del volteo en esta fase fue evidente, la P1 volteada una vez cada 15 días permaneció caliente por más tiempo, mientras que la P2, volteada dos veces por semana tuvo una mayor pérdida de calor y de humedad. Estos resultados son comparables a los realizados por (Costa et al., 2016b, p. 5) en su estudio sobre compostaje con residuos agroindustriales.

La fase de maduración se dio al finalizar la etapa biooxidativa, la temperatura se mantuvo cercana a la del ambiente, esta fase duró alrededor un mes dando lugar a la estabilización de la materia orgánica y la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. La temperatura final para P1 fue de 14,9 °C y para P2 de 14,1 °C

3.1.3. Humedad

La humedad es un factor importante en el proceso de compostaje. Un medio muy húmedo no permite la circulación del oxígeno creándose condiciones anaerobias; un medio muy seco no permite la solubilización de la materia orgánica disminuyendo la actividad microbiana (Jara, 2016b, p. 24). En la primera etapa del proceso, la humedad de los residuos vegetales bajó gracias a los residuos secos de poda, lo que permitió que la humedad sea óptima y se mantenga en aproximadamente 70%. A medida que el proceso avanzaba y con la influencia de los volteos, la P1 mantuvo una humedad cerca al 50 % y la P2, con mayor número de volteos, se mantuvo entre 30- 40% siendo necesario incorporar agua mediante el riego de la pila. Los volteos continuos ayudaron a la homogenización de la pila, facilitando la pérdida de humedad (Oviedo, Marmolejo y Torres, 2014c, p. 5).

Se esperaba la reducción de humedad a medida que el proceso de compostaje avanzaba, sin embargo, las fuertes precipitaciones provocaron la acumulación de humedad y para evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación fue necesario cubrir las pilas.

3.1.4. Variación de pH

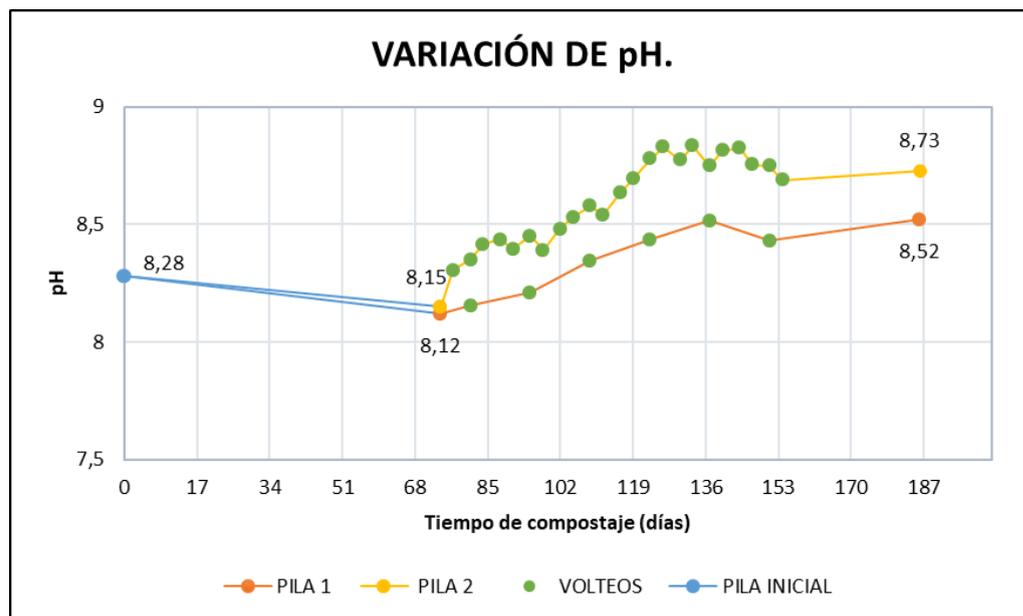


Gráfico 2 - 3: Variación del pH.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022

El pH es un parámetro importante que se debe tomar en cuenta a lo largo del proceso. Un pH ácido indica condiciones anaerobias y un pH muy alto está relacionado con el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles (Soliva y López, 2004, p. 9). Las pilas en este estudio tuvieron el comportamiento esperado. Normalmente, el pH en el compostaje de residuos vegetales, cuando el proceso ha avanzado, se incrementa, debido a la descomposición de compuestos de tipo ácido (grupos carboxílicos y fenólicos) y a la mineralización de proteínas, péptidos y aminoácidos a amonio (Jara, 2016c, p. 83).

El pH inicial fue alcalino (8,28) esto se debe a que los residuos vegetales y la poda tuvieron un previo proceso de degradación por separado debido a su almacenamiento antes de iniciar el compostaje. Las pilas 1 y 2 presentaron valores similares en el rango alcalino, esto ocurrió luego de la descomposición de ácidos orgánicos y la transformación de nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal (Oviedo, Marmolejo y Torres, 2014d, p. 6). El pH final para P1 fue de 8,52 y para P2 fue de 8,73, la frecuencia de volteo en este caso no tuvo efecto significativo en los valores de pH.

3.1.5. Variación de la conductividad eléctrica (CE)

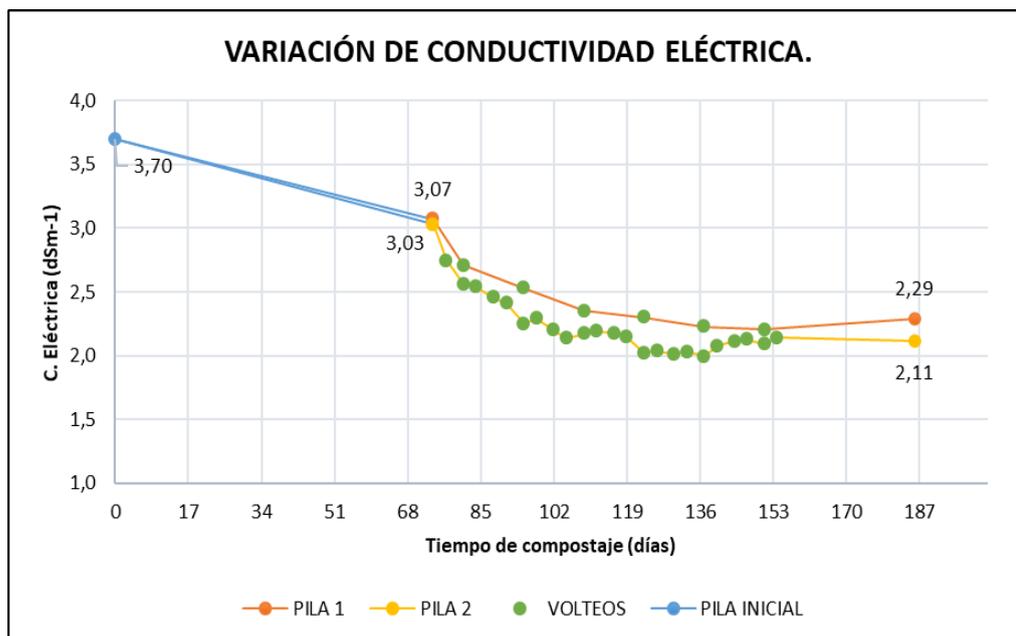


Gráfico 3 - 3: Variación de CE.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sepúlvera, Tapia y González, 2011, p. 39). El valor inicial de la CE fue de 3,70 dSm⁻¹ y los valores finales de CE para la P1 fueron de 2,29 dSm⁻¹ y para la P2 2,01 dSm⁻¹. La pérdida de sales solubles y de iones de amonio, hace que se reduzcan los valores de CE (Ripp et al., 2020b, p. 568; citado en Pelegrín et al., 2018). Esto se debió en parte, a la ausencia de cobertura de las pilas combinada con las precipitaciones durante el período de compostaje. Estos valores estuvieron por debajo del límite superior de 3 dSm⁻¹, que se considera no tóxico para las plantas (Zhou, 2017a, p. 6; citado en Soumaré et al., 2002), por lo tanto están dentro de los límites permitidos.

3.1.6. Variación de materia orgánica

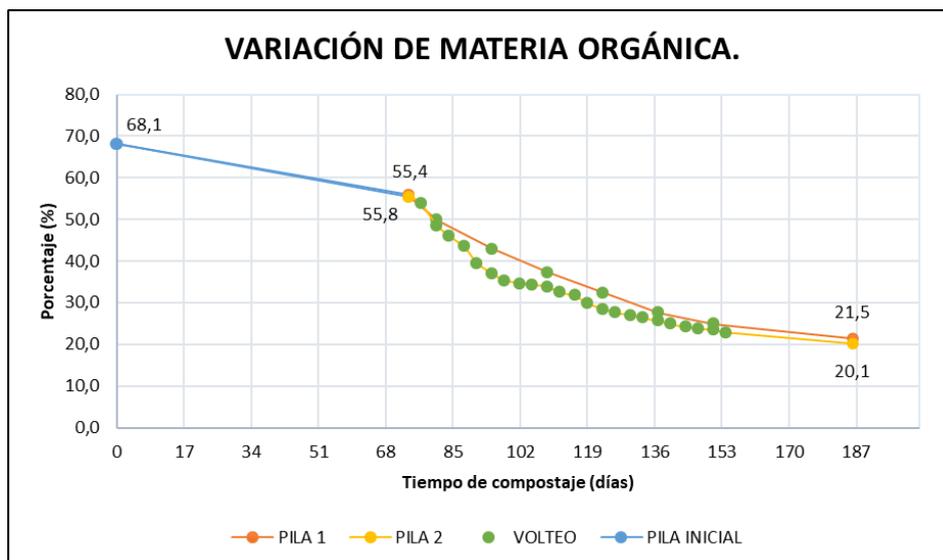


Gráfico 4 - 3: Variación de materia orgánica.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022

La materia orgánica es uno de los indicadores principales de la calidad agronómica del compost, su porcentaje depende de la naturaleza de los materiales, de sus aditivos o del tratamiento que se emplee. A medida que el proceso de compostaje avanza la materia orgánica desciende debido a la mineralización y pérdida de carbono en forma de CO_2 como también a la degradación de compuestos fácilmente degradables como proteínas, celulosa y hemicelulosa, que son utilizados por microorganismos como fuentes de C y N (Zhou, 2017b, p. 8; citado en Kalamdhad & Kazmí., 2009).

En este estudio se partió con el 68,1 % materia orgánica inicial. Al final del proceso no se tuvo una variación considerable en la fase de maduración esto indica que el proceso alcanzó su estabilidad, los valores finales de materia orgánica fueron 21,5% y 20,1 % para P1 y P2 respectivamente. El porcentaje de materia orgánica en P2 es menor, esto puede atribuirse al aumento de oxígeno proporcionado al voltearla con mayor frecuencia y a las temperaturas más altas que aumentaron la actividad microbiana, por tanto, su degradación.

Hay que considerar que los valores obtenidos en ambas pilas son bajos en comparación con otros estudios de compostaje de residuos vegetales (Jiménez, 2015c, p. 82), esto pudo deberse a la mezcla con tierra al momento del volteo, pues la geomembrana sobre la que se armaron las pilas se rompió durante el volteo mecánico. Sin embargo los valores obtenidos son superiores a 20, límite establecido por Ecological criteria soil improvers (Jara, 2016d, p. 86).

3.1.7. Variación de macronutrientes

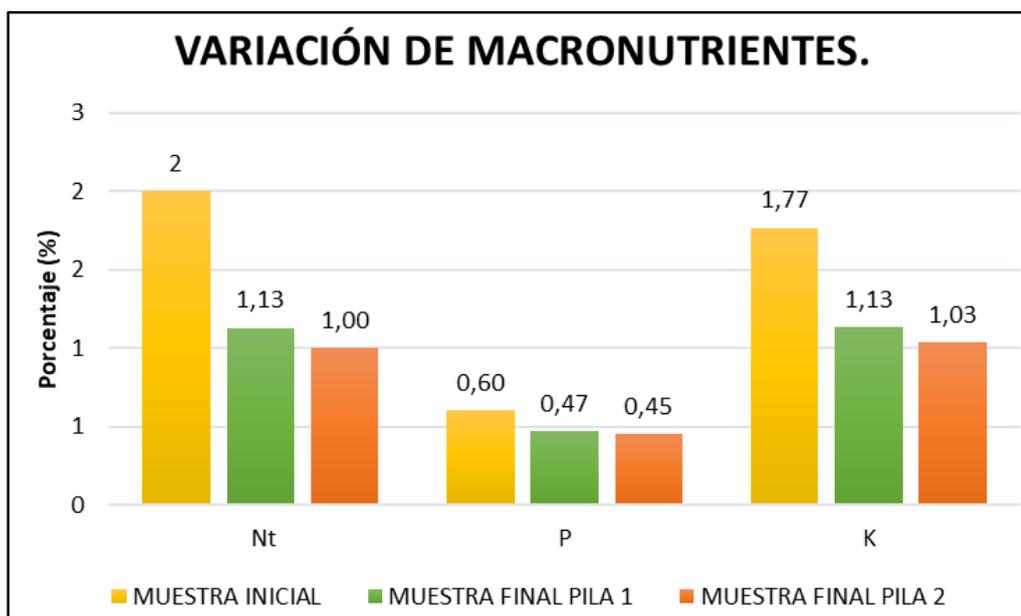


Gráfico 5 - 3: Variación de macronutrientes.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022

NT: Nitrógeno Total, P: Fósforo, K: Potasio

Para considerar a un compost de buena calidad los macronutrientes son fundamentales ya que éstos son los que van a favorecer el enriquecimiento del suelo y a dar los nutrientes a las plantas. El nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son los macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

El nitrógeno es importante para el desarrollo de las plantas, para su crecimiento, por ende, es el nutriente elemental en el compost. El NT final para la P1 fue de 1,13% y para la P2 1%, siendo este último más bajo. Se reportaron valores inferiores de NT, cuando se aumentó la frecuencia de los volteos en las pilas, debido a que con una mayor aireación se transforma de NH_3 acuoso a NH_3 gaseoso, el cual por las altas temperaturas y pH, puede volatilizarse en cada volteo (Oviedo, Marmolejo y Torres, 2014e, p. 7). En todo caso el porcentaje es superior al 1% cumpliendo con lo indicado en la legislación española (BOE, 2013a).

El fósforo en forma de óxido fosfórico (P_2O_5), es esencial para el crecimiento de las plantas, en el proceso de fotosíntesis, transporte de nutrientes y es un emisor de energía. El porcentaje de fósforo para la P1 y la P2 fue de 0,47% y 0,45% respectivamente. En este caso el valor obtenido de fósforo, al ser inferior al 1% no cumple con la normativa española (BOE, 2013b). Posiblemente, se deba a que las precipitaciones arrastran las sales solubles en agua.

El potasio en forma de óxido de potasio (K_2O) es esencial para las plantas, al igual que los otros macronutrientes, ayuda a la respiración, a la activación enzimática y al proceso de fotosíntesis. El porcentaje final de potasio en la P1 fue de 1,13% y en la P2 1,03%, los valores son superiores a 1% establecido en la normativa española (BOE, 2013c).

Como se puede evidenciar en este estudio, la P1 con menor número de volteos, tiene mayor cantidad de macronutriente N, P y K. Esto concuerda con lo observado en experiencia de compostaje con variación en la frecuencia de volteo (Cook et al., 2015, p. 93: citado en Parkinson et al., 2004).

3.1.8. Relación C/N

La relación C/N indica el grado de madurez del compost, su reducción es provocada por la degradabilidad del carbono por parte los microorganismos y por la pérdida en forma de CO_2 , el nitrógeno se pierde como moléculas volátiles. Se considera que una relación C/N inicial óptima debe ser de 25 (25 unidades de carbono y 1 de nitrógeno) a 35 (35 unidades de carbono y 1 de nitrógeno) (Bohórquez Santana, 2020, p. 22).

La relación C/N en esta investigación disminuyó de 26,95 a 10,34 y 10,92 para la P1 y P2 respectivamente. Las dos pilas presentaron relaciones menores a 20, por lo que el compost puede considerarse maduro. Según la bibliografía, las relaciones C/N menores a 20 tienen mayores tasas de mineralización en el suelo, estabilidad y madurez, y disminuye la disponibilidad del nitrógeno orgánico (López, 2010, p. 99).

3.1.9. Parámetros biológicos

3.1.9.1. Índice de germinación (IG)



Gráfico 6 - 3: Índice de germinación (IG)

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022

El IG inicial fue de 50,44%. El IG del compost maduro de la P1 llegó a 69,53% y de la P2 77,69% según (Ripp et al., 2020c, p. 7) los sustratos que estén entre 60%-80% presentan una toxicidad moderada. En este caso para que los composts sean usados directamente como enmienda agrícola deberían ser mezclados con otros que presenten IG mayores a 80% (Mejía y Ramos, 2019, p. 64) o someterlos a un tratamiento de higienización como la solarización para disminuir la presencia de posibles bacterias patógenas.

El compost final de la P2 tuvo una menor toxicidad, posiblemente a que alcanzó mayores temperaturas en la fase termófila mejorando la higienización y la eliminación de sustancias fitotóxicas.

3.1.9.2. Bacterias ácido lácticas

Se logró en este estudio el aislamiento de 5 colonias puras de bacterias ácido lácticas provenientes de los residuos vegetales del EP-EMMPA (tomates, cebollas, col, lechuga, rábano, zanahoria, acelga), comprobando así que estas bacterias habitan en vegetales, que por un proceso de adaptación han ido colonizando otros sustratos que reúnen las bacterias lácticas bien en asociación

con los vegetales y desarrollan a expensas de los nutrientes liberados tras la muerte y descomposición de los tejidos vegetales, también se encuentran en los encurtidos, la col ácida, el pienso, los productos de panadería, la cerveza, el vino y los zumos de frutas (Agurto Saenz y Ramos Gorbeña, 2008, p. 56).

La presencia de estas bacterias en los residuos ayuda a la descomposición de los carbohidratos para obtener energía, tienen requisitos nutricionales de complejos de aminoácidos, péptidos, bases nucleótidos, vitaminas, minerales, ácidos grasos y carbohidratos. Los residuos vegetales están formados por componentes de alto valor nutritivo (proteína, aceites, azúcares, vitaminas, etc.) el nitrógeno y carbono son aprovechados por la bacterias ácido lácticas que son fermentadoras, produciendo ácido láctico a partir de carbohidratos, dándole cualidades nutritivas y antimicrobianas contra bacterias patógenas y putrefactivas (Melo, 2020, p. 17).

Las bacterias ácido lácticas tienen características antimicrobianas y enzimáticas, inhiben el crecimiento de bacterias patógenas gram-positivas, mohos y levaduras; son de importancia para la industria de alimentos posiblemente debido a la producción de péptidos antimicrobianos de potencial importancia para aplicaciones tecnológicas debido a que presentan varias actividades enzimáticas como proteasa, lipasa, amilasa, metabolismo del ácido cítrico, así como también producción de xopolisacáridos, de ahí la importancia de cultivo y aislamiento en los vegetales (Linares, 2021, p. 115).

3.1.10. Calidad de los productos finales

Análisis estadístico según el coeficiente de variación

Tabla 14 - 3: Análisis estadístico coeficiente de variación

Parámetro	Unidades	P1	CVP1	P2	CVP2
pH		8,52	1,81	8,73	2,31
CE	dSm ⁻¹	2,29	21,16	2,11	16,41
MO	%	21,1	43,52	20,8	30,6
NT	%	1,13	39,3	1	47,14
P	%	0,47	17,18	0,45	20,2
K	%	1,13	31,21	1,03	37,38
IG	%	69,53	22,5	77,69	30,08

pH: Potencial Hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica, MO: Materia Orgánica, NT: Nitrógeno total, P: Fósforo, K: Potasio, IG: Índice de Germinación, CV: Coeficiente de variación.

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

En la tabla 14 -3 se muestran los valores finales de cada factor que indica las características del

compost. El coeficiente de variación (CV), indica la dispersión entre los datos, si este valor es más próximo a cero los datos tienen poca variabilidad. Para los parámetros materia orgánica (MO) y nitrógeno total (NT), dichos coeficientes son más cercanos al 100%, perdiendo confiabilidad y mostrándose más dispersos que el resto de parámetros. El parámetro pH, cuya variación fue más cercana a 0, muestra poca variabilidad entre sus datos.

Análisis estadístico según la prueba t-student

Para ello se evaluaron las siguientes hipótesis:

$$H_0: Pila_1 = Pila_2$$

$$H_A: Pila_1 \neq Pila_2$$

H₀: Hipótesis nula

H_A: Hipótesis alternativa

Se usa el estadístico la prueba t- student, a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 15 - 3: Análisis estadístico t-student

Parámetro	Muestreo	Pila 1	Pila 2	t calculado	t critico	p - valor																																																								
NT	Inicial	2	2	0,10	4,30	0,931																																																								
	Final	1,13	1				P	Inicial	0,6	0,6	0,10	4,30	0,929	Final	0,47	0,45	K	Inicial	1,77	1,77	0,10	4,30	0,928	Final	1,13	1,03	MO	Inicial	68,1	68,1	0,88	2,03	0,386	Final	21,1	20,8	IG	Inicial	50,44	50,44	0,25	4,30	0,829	Final	69,53	77,69	CE	Inicial	3,7	3,7	1,02	2,03	0,316	Final	2,29	2,11	pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03
P	Inicial	0,6	0,6	0,10	4,30	0,929																																																								
	Final	0,47	0,45				K	Inicial	1,77	1,77	0,10	4,30	0,928	Final	1,13	1,03	MO	Inicial	68,1	68,1	0,88	2,03	0,386	Final	21,1	20,8	IG	Inicial	50,44	50,44	0,25	4,30	0,829	Final	69,53	77,69	CE	Inicial	3,7	3,7	1,02	2,03	0,316	Final	2,29	2,11	pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03	0,002	Final	8,52	8,73						
K	Inicial	1,77	1,77	0,10	4,30	0,928																																																								
	Final	1,13	1,03				MO	Inicial	68,1	68,1	0,88	2,03	0,386	Final	21,1	20,8	IG	Inicial	50,44	50,44	0,25	4,30	0,829	Final	69,53	77,69	CE	Inicial	3,7	3,7	1,02	2,03	0,316	Final	2,29	2,11	pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03	0,002	Final	8,52	8,73																
MO	Inicial	68,1	68,1	0,88	2,03	0,386																																																								
	Final	21,1	20,8				IG	Inicial	50,44	50,44	0,25	4,30	0,829	Final	69,53	77,69	CE	Inicial	3,7	3,7	1,02	2,03	0,316	Final	2,29	2,11	pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03	0,002	Final	8,52	8,73																										
IG	Inicial	50,44	50,44	0,25	4,30	0,829																																																								
	Final	69,53	77,69				CE	Inicial	3,7	3,7	1,02	2,03	0,316	Final	2,29	2,11	pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03	0,002	Final	8,52	8,73																																				
CE	Inicial	3,7	3,7	1,02	2,03	0,316																																																								
	Final	2,29	2,11				pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03	0,002	Final	8,52	8,73																																														
pH	Inicial	8,28	8,28	3,44	2,03	0,002																																																								
	Final	8,52	8,73																																																											

Realizado por: Quillay, Katherin, 2022.

Mediante el análisis estadístico de la prueba t-student realizado en la tabla 15-3 los resultados indican que las pilas 1 y 2 tienen una diferencia estadísticamente significativa con respecto al pH al tener un p-valor <0,05, por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula. En cambio, con respecto a Nt, P, K, MO, IG y CE las pilas 1 y 2 no muestran diferencias significativas al tener p-valor >0,05, por siguiente se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula.

CONCLUSIONES

Se trabajó con dos pilas con una misma relación C/N para determinar la influencia de la frecuencia de volteo. La pila 1 fue volteada cada 15 días, mientras que la pila 2 se volteó dos veces por semana. Como parámetros de control durante el proceso, se registró la temperatura, el pH y la humedad.

Se evaluó la influencia de la frecuencia de volteo, siendo el compost de la pila 2, con una frecuencia mayor de volteos, la que presentó una mayor estabilización de la materia orgánica, una mejor higienización, menor fitotoxicidad y picos iniciales más altos de temperatura. Los volteos ayudaron a controlar la humedad y mejorar las condiciones de aireación. Sin embargo, la calidad del compost se vio ligeramente afectada, en especial en la disminución de los macronutrientes.

Se caracterizaron las muestras de cada pila para controlar y analizar el proceso. Se determinó el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, los macronutrientes (NPK) como los principales parámetros físico-químicos y químicos. Al inicio y al final del proceso se determinó el índice de germinación como prueba biológica.

En este estudio los valores para materia orgánica fueron bajos, pero estuvieron sobre el límite permitido por la normativa, los macronutrientes (NPK) disminuyeron, sin embargo, resultaron aceptables. En tanto el pH fue alcalino, la aireación por parte de los volteos tuvo un impacto favorable en valores menores de conductividad eléctrica y en la disminución de sustancia tóxicas reflejadas en los valores del índice de germinación que fueron no tóxicos, resultando una calidad de compost aceptable para la agricultura y jardinería como enmienda para el suelo. Por otro lado, mediante el análisis estadístico se determinó que el pH es un parámetro estadísticamente comparable, es decir no varió con la frecuencia de volteo, en cambio los parámetros Nt, P, K, MO, IG y CE son estadísticamente no comparables, concluyendo que si variaron con respecto a la frecuencia de volteo.

RECOMENDACIONES

- Para obtener residuos vegetales sin presencia de impropios, se debe realizar una correcta separación dentro del EP- EMMPA, por parte de los comerciantes y el personal de limpieza.
- Los materiales iniciales deben ser triturados a un tamaño de partícula 4 - 5 cm para que el proceso de degradación sea más rápido.
- Realizar el proceso de compostaje en un lugar encementado, para evitar alteraciones en los resultados, principalmente de materia orgánica.
- Armar las pilas en un lugar techado para evitar el exceso de humedad por las precipitaciones y la pérdida de nutrientes por lixiviación.
- Si las pilas contienen impropios es recomendable retirar dichos materiales en cada volteo, esto permitirá que el proceso se desarrolle correctamente.

BIBLIOGRAFÍA

AGROCALIDAD. Instructivo de la normativa general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en el Ecuador. *Magap* [en línea], 2013. . pp. 202. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/by3.pdf>.

AGURTO SAENZ, T. y RAMOS GORBEÑA, J. carlos. Bacterias Acido lácticas: Biopreservante de los alimentos. *Biotiempo*, 2008. . vol. 8, pp. 54-64.

ALKARIMIAH, R. y SUJA, F. Effects of technical factors towards achieving the thermophilic temperature stage in composting process and the benefits of closed reactor system compared to conventional method – A mini review. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019. . vol. 17, no. 4, pp. 18. ISSN 17850037. DOI 10.15666/aer/1704_99799996.

ANDRADE, S. *Elaboración de compost a partir de desechos orgánicos con el uso de bacterias acido-lácticas y trichoderma spp. En la ciudad de Ibarra.* S.l.: , 2016. s.n.

ANSORENA, J. y MERINO, E.B.D. Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos , enmiendas y abonos orgánicos. *Escuela Agraria Fraisoro*, 2014. . pp. 1-67.

BANCO MUNDIAL. Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos. [en línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>. 2018.

BAYER. Una segunda vida para los residuos vegetales agrícolas. [en línea]. Disponible en: [https://www.bayer.com/es/es/blog/espana-una-segunda-vida-para-los-residuos-vegetales-agricolas#:~:text=Una de las opciones más,capacidad de retención del agua](https://www.bayer.com/es/es/blog/espana-una-segunda-vida-para-los-residuos-vegetales-agricolas#:~:text=Una de las opciones más,capacidad de retención del agua.). 2022.

BOE. Sobre productos fertilizantes. [en línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7540>. 2013.

BOHÓRQUEZ SANTANA, W., *El proceso de compostaje.* 2020. . S.l.: s.n. ISBN 9789585486676.

BRITO, H., VITERI, R., GUEVARA, L., VILLACRÉS, M., JARA, J., JIMÉNEZ, S., MOYA, P. y PARRA, C. “Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba”. *European Scientific Journal, ESJ*, 2016. . vol. 12, no. 29, pp. 76. ISSN 18577881. DOI 10.19044/esj.2016.v12n29p76.

CAMPITELLI, P., *Compostaje. Obtención de abonos de calidad para las plantas* [en línea]. Editorial, 2014. S.l.: s.n. ISBN 9789875914926. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/78144?page=1>.

CCA, *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte*. 2017. . S.l.: s.n. ISBN 9783319766805.

CELEC E.P., . Instructivo para la gestión de residuos sólidos. . 2016. . Cuenca: s.n., pp. 7.

COOK, K.L., RITCHEY, E.L., LOUGHRIN, J.H., HALEY, M., SISTANI, K.R. y BOLSTER, C.H. Effect of turning frequency and season on composting materials from swine high-rise facilities. , 2015. pp. 83-95.

COSTA, M.S.S.D.M., CARNEIRO, L.J., COSTA, L.A.D.M., PEREIRA, D.C. y LORIN, H.E.F. Composting time reduction of agro-industrial wastes. *Engenharia Agricola*, 2016. . vol. 36, no. 6, pp. 1206-1217. ISSN 18084389. DOI 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1206-1217/2016.

DÍAZ, Y. Residuos orgánicos se transforman en abono. [en línea]. Disponible en: <https://www.loja.gob.ec/noticia/2018-02/residuos-organicos-se-transforman-en-abono>. 2018.

DOCAMPO, R. Compostaje y Compost. *Inia* [en línea], 2013. . pp. 63-67. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>.

GARCÍA, J., RUIZ, N., LIRA, R., VERA, I. y MÉNDEZ, B. Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas. *Centro de Investigación en Iquímica Aplicada (CIBQ)* [en línea], 2016. . pp. 129-140. Disponible en: [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/Técnicas Para Evaluar Germinación%2C Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/Técnicas%20Para%20Evaluar%20Germinación%20Vigor%20y%20Calidad%20Fisiológica%20de%20Semillas%20Sometidas%20a%20Dosis%20de%20Nanopartículas.pdf).

GOBERNANZA LOCAL. Planta de compostaje EMAC [Cuenca]. [en línea]. Disponible en: <https://gobernalocal.wordpress.com/2013/06/20/planta-de-compostaje-emas-cuenca/>. 2013.

GONZÁLEZ, J.A. Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región* [en línea], 2016. . no. 22, pp. 101-119. ISSN 2216-1139. Disponible en: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionregion/article/download/149/146>.

HERNÁNDEZ, M.L. y BLANCO, J.E. Prácticas de consumo-desecho de residuos sólidos domiciliarios en Ciudad Juárez en 2014 Waste disposal-consumption practices of solid household waste in Juarez City in 2014. *Universidad Autonoma de Ciudad de Juarez- Mexico*, 2017. . pp. 1-36.

INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización «Gestión Ambiental. Estandarización de Colores para Recipientes de Depósito y Almacenamiento Temporal de Residuos Sólidos. Requisitos» [en línea]. 2014. . S.l.: s.n. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2841.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE CHILE. Compost - Clasificación y requisitos. *Instituto Nacional de Normalización* [en línea]. 2003. . S.l.: Disponible en: <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>.

JARA, J. *Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos* [en línea]. S.l.: 2014. s.n. Disponible en: http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2003/1/TFM_Jara_Samaniego%2C_Janneth.pdf.

JARA, J. Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2770/1/TD%20Jara%20Samaniego%2C%20Lourdes%20Janneth.pdf>. 2016 .

JIMÉNEZ, S. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo “Elaboración De Compost a Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado.* S.l.: 2015. s.n.

LEÓN, A., MOTATO, K., GRANDA, D., MONTOYA, O.I., ECHEVERRI, S., QUINCHÍA, L., RODRÍGUEZ, C., LOPERA, J., CARO, A., RESTREPOZ, M. y VALENCIA, J. Evaluación de Bacterias Acido Lácticas Colombianas en las Propiedades Sensoriales, Reológicas, Fisicoquímicas y Microbiológicas de Masas Acidas de Pan. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 2005. . vol. 36, pp. 8. ISSN 02535688.

LEVIN FIORELLI, A. *Aislamiento, identificación y estudio de características de interés tecnológico de cepas pertenecientes al género Lactobacillus*. S.l.: 2003. s.n.

LINARES, J.R. *Selección de bacterias ácido lácticas aisladas de fuentes vegetales por su capacidad antimicrobiana y su uso en biopreservación de alimentos*. S.l.: 2021. s.n.

LÓPEZ AGUILAR, R., MURILLO AMADOR, B., BENSON ROSAS, M., LÓPEZ ARCE, E. y VALLE MEZA, G., *Manual De Análisis Químicos De Suelos*. 2002. . S.l.: s.n. ISBN 970-18-8541-4.

LÓPEZ WON, W. *Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol*. S.l.: 2010. s.n.

MEJÍA, E. y RAMOS, S. *Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa Mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausi y Guamate, mediante tratamientos biológicos, compostaje, co- compostaje, vermicompostaje y Takakura*. [en línea]. S.l.: 2019. s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10799>.

MELO, J.M. *Efecto de la regulación del pH y relación C/N en el proceso de compostado con la aplicación de bacterias ácido lácticas en residuos orgánicos*. S.l.: 2020. s.n.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales* [en línea]. 2020. . S.l.: s.n. Disponible en: www.ambiente.gob.ec.

NORMA AMBIENTAL ECUATORIANA. Libro VI Anexo 6 Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos sólidos No Peligrosos. *Tulsma* [en línea], 2003. . pp. 45. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/55/LIBRO_VI_Anexo_6_Manejo_desechos_solido_no_peligrosos.pdf.

OROZCO ÁLVAREZ, C., DÍAZ MEGCHÚN, J., MACÍAS HERNÁNDEZ, M. de J. y ROBLES MARTÍNEZ, F. Effect of the turning frequency in the biodrying of organic solid waste. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 2019. . vol. 35, no. 4, pp. 979-989. ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2019.35.04.16.

OVIEDO, E.R., MARMOLEJO, L.F. y TORRES, P. Influence of pile turning frequency for moisture control in municipal biowaste composting. *Revista Internacional De Contaminacion Ambiental* [en línea], 2014. . vol. 30, no. 1, pp. 91-100. ISSN 0188-4999. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

RIPP, P.G., GUSMÃO, A.P., EDWIGES, T., LORIN, H.E.F. y COSTA, M.S.S. d. M.C. COMPOSTING PROCESS IN THE PRODUCTION OF LETTUCE SEEDLING SUBSTRATES: EFFECT OF COVERING AND TURNING FREQUENCY. *Engenharia Agricola*, 2020. . vol. 40, no. 5, pp. 562-570. ISSN 18084389. DOI 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n5p562-570/2020.

ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M.M. y PANTOJA, A., *Manual de compostaje del agricultor* [en línea]. 2015. . S.l.: s.n. ISBN 9789253078448. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

RUÍZ, L. La gestión de desechos sólidos como herramienta de mitigación climática, el caso de Latacunga, Ecuador. [en línea], 2020. . pp. 49. Disponible en: https://www.flacso.edu.ec/cambioclimatico/wp-content/uploads/2021/04/PICC_Latacunga_web.pdf.

SALAZAR, A. y SANCHEZ, D. Evolución Histórica de la Estadística de Información Ambiental Económica en GAD Municipales. , 2018.

SALINAS, J.G. y GARCÍA, R., *Analytical methods for acid soils and plants* [en línea]. 1979. . S.l.: s.n. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/digital/S593.5S371979C.1_Métodos_analíticos_para_suelos_ácidos_y_plantas.pdf.

SEPÚLVERA, F., TAPIA, F. y GONZÁLEZ, S. Manejo de residuos sólidos biodegradables y no. . 2011. . S.l.: s.n., pp. 35-71.

SOLIVA, M. y LÓPEZ, M. Calidad del compost : Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. *Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora Valsain CENEAMMIMAM 1* [en línea], 2004. . pp. 1-20. Disponible en: <http://gidr.gesfer.cat/tractaments/els-principals-tractaments/calidad-compost-lodos.pdf>.

TIXE, M. y RUIZ, B. *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* [en línea]. S.l.: 2018. s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10549>.

TULSMA. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003* [en línea], 2017. . no. 3399, pp. 1-407. Disponible en: www.lexis.com.ec.

VALENCIA, W. *Elaboración y caracterización de compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo(ESPOCH)* [en línea]. S.l.: 2016. s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4887>.

VALVERDE, V. *Diseño y Automatización de un Sistema de Aireación Forzada para el Co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta* [en línea]. S.l.: 2015. s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4861>.

VERDÚ BELMONTE, A., SORAINO SOTO, M.D. y SANCHO CIVERA, J., *Prácticas de diagnóstico y fertilidad de suelos.* Valencia:2004. . Valencia: s.n.

YÉPEZ, T. *Universidad técnica del norte.* S.l.: 2019. s.n.

ZHOU, J. Effect of turning frequency on co-composting pig manure and fungus residue. *Journal of the Air and Waste Management Association* [en línea], 2017. . vol. 67, no. 3, pp. 313-321. ISSN 21622906. DOI 10.1080/10962247.2016.1232666. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/10962247.2016.1232666>.

ZHOU, J. Effects of turning frequency on the nutrients of Camellia oleifera shell co-compost with goat dung and evaluation of co-compost maturity. , 2019. . pp. 312-321.

ANEXO

ANEXO A: FASE EXPERIMENTAL



Recogida de residuos vegetales en el EM-EMMPA



Almacenamiento de los residuos



Armado de pila R: C/N 26



Control de los parámetros pH, %H de la PI



Retiro de impropios



Armado de pilas (P1 y P2)



Primer volteo P1



Primer volteo P2



Retiro de impropios de cada pila luego de cada volteo



Control de los parámetros pH, %H de la P1 y P2



Pilas cubiertas con plástico debido a las condiciones climáticas (precipitaciones)



Toma de muestras de cada pila antes de cada volteo



Último volteo P1 (N° 6)



Último volteo P2 (N° 23)



P1 y P2 en etapa de maduración

ANEXO B: FASE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO EN EL LABORATORIO



Pesado de muestra



Secado de muestra en la estufa a 105 °C



Pesado de muestra luego de 24 h de secado



Molienda de muestras



Muestras colocadas en un frasco y etiquetadas hasta su análisis



Peso de crisol (tarado) vacío y muestra



Ingreso de los crisoles con las muestras a la mufla a 430 °C



Muestras enfriándose en el desecador



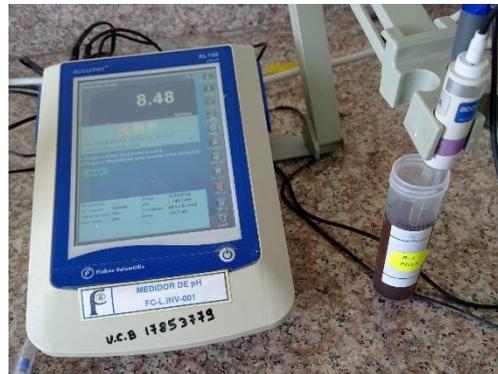
Pesaje y registro de la muestra calcinada



Preparado de muestras para la determinación de CE y pH



Medición de CE



Medición de pH



Preparado de muestras para la determinación de NPK



Nitrógeno orgánico y fósforo por espectrofotometría UV visible



Potasio por espectrofotometría de absorción atómica

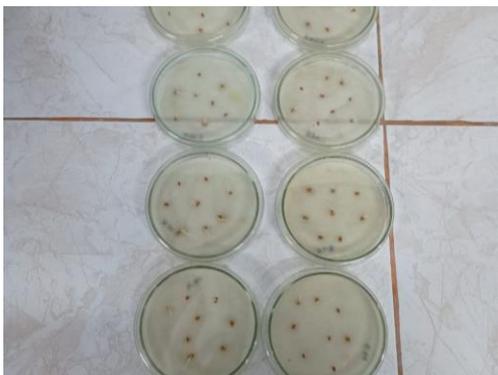
ANEXO C: FASE ANÁLISIS BIOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO EN EL LABORATORIO



Preparado de muestras para determinación de IG



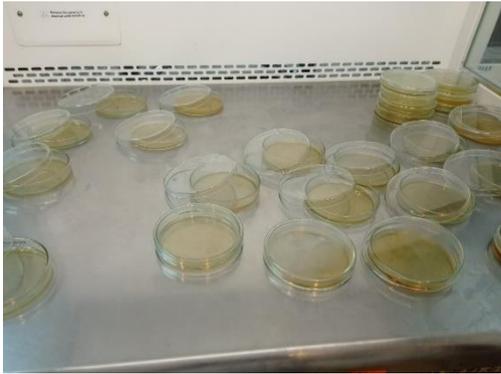
Ingreso de muestras a la incubadora por 48 h a 28 °C



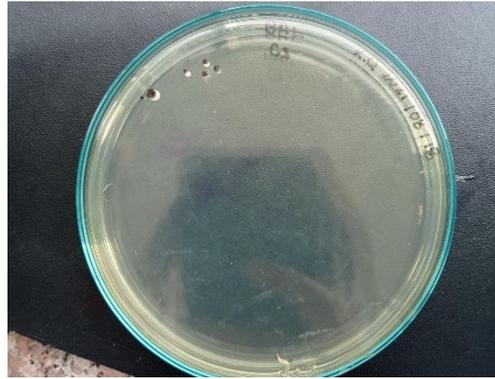
Muestras luego de la incubación



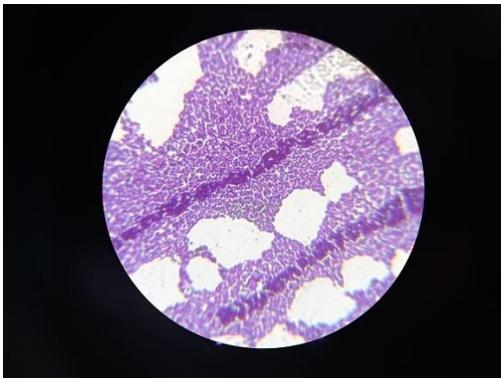
Conteo y medición de semillas germinadas



Preparación de cajas y siembra



Conteo de colonias



Ensayo de tinción gram



Ensayo de catalasa



Enriquecimiento de colonias



Obtención de colonias puras de bacterias ácido lácticas

ANEXO D: ZONA DE ESTUDIO



ANEXO E: TEMPERATURA PROMEDIO DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

TIEMPO DE COMPOSTAJE (DÍAS)	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)
0	20,4
3	53,4
7	55,9
11	59,6
14	56,8
18	54,1
21	51,2
25	50,4
28	48,2
32	45,7
35	43,0
39	41,7
43	42,5
47	41,3
50	43,5
54	41,8
57	41,1
61	43,2

Realizado por: Quillay, K. 2022

TIEMPO DE COMPOSTAJE (DÍAS)	TEMPERATURA PROMEDIO (°C) P1	TEMPERATURA PROMEDIO (°C) P2
74	45,1	45,8
77	47,1	47,3
81	47,9	53,8
84	50,1	55,3
88	48,1	53,9
91	46,7	48,1
95	43,1	40,2
98	38,7	36,9
102	34,9	31,9
105	31,2	28,1
109	29,2	25,8
112	27,0	24,2
116	26,0	22,7
119	25,3	22,4
123	24,5	21,2
126	23,0	20,4
130	22,3	21,1
133	21,5	19,4
137	20,6	18,6
140	19,3	17,9
144	18,5	17,4
147	17,8	17,1
151	17,4	16,8
154	17,0	16,6
186	14,9	14,1

Realizado por: Quillay, K. 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: 10 / 08 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Katherin Jhoanna Quillay Pilamunga
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

1723-DBRA-UTP-2022