



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EFECTO DEL PORCENTAJE DE ESTIÉRCOL DE CUY Y
ESTIÉRCOL DE CONEJO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE
LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LA CABECERA
PARROQUIAL SAN LUIS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ADRIANA CRISTINA SINCHE VILLAFUERTE

DIRECTORA: Dra. IRENE GAVILANES TERÁN, PhD

Riobamba – Ecuador

2022

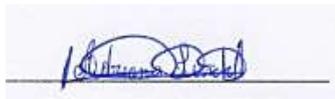
©2022, Adriana Cristina Sinche Villafuerte

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

Yo, ADRIANA CRISTINA SINCHE VILLAFUERTE, 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 toda 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, 10 de mayo de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Adriana Sinche Villafuerte', is written over a horizontal line.

Adriana Cristina Sinche Villafuerte

060436673-2

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

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **EFEECTO DEL PORCENTAJE DE ESTIÉRCOL DE CUY Y ESTIÉRCOL DE CONEJO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LA CABECERA PARROQUIAL SAN LUIS**, realizado por la señorita: **ADRIANA CRISTINA SINCHE VILLAFUERTE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Johana Elizabeth Ayala Izurieta, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-10
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION		2022-05-10
Dr. Julio Cesar Idrovo Novillo, PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-10

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a DIOS porque él ha sido mi luz en cada etapa de mi vida, me ha dado sabiduría, paciencia, entendimiento, me apoyado y me enseñado el camino que debo seguir. A mi mamá Rosalía Villafuerte que han sido el pilar fundamental en mi existencia por ser mi soporte, apoyo, compañía y porque siempre ha estado conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida. Al grupo GAIBAQ en especial a la Dra. Irene Gavilanes y Dr. Julio Idrovo por apoyarme en la ejecución del presente trabajo de titulación. A mis tíos Verónica y Jorge Villafuerte por apoyarme moralmente en cada etapa de mi vida y por sus consejos para seguir adelante. A mis hermanos Alejandro y Kerly por ser mi alegría y mi fuente de inspiración.

Adriana

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS todopoderoso y la Virgen, por darme vida, salud, fortaleza, valentía para cumplir mis metas en el transcurso de mi vida. Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de estudiar y ser un ente valioso para la sociedad.

Al Grupo de Investigación en Biotecnología Ambiente y Química (GAIBAQ) por el apoyo científico y tecnológica, especialmente a la Dra. Irene Gavilanes y Dr. Julio Idrovo por apoyarme y guiarme desde un inicio para desarrollar el trabajo de titulación y a los técnicos encargados de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por las facilidades y apoyo, en especial al Ing. Víctor Hugo Valverde y Ing. Cristian Chuquín.

A mis padres que me apoyaron moral y económicamente, que me motivaron y que siempre estuvieron ahí para darme lo mejor de ellos.

Adriana

TABLA DE CONTENIDOS

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

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Generación de residuos sólidos en Ecuador.....	7
1.2. Generación de residuos sólidos en Riobamba.....	7
1.2.1. <i>Gestión ambiental de los residuos sólidos en Riobamba</i>	8
1.2.1.1. <i>Campañas informativas de sensibilización</i>	8
1.2.1.2. <i>Convenios interinstitucionales</i>	8
1.2.1.3. <i>Coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales</i>	8
1.2.1.4. <i>Coordinación ciudadana</i>	8
1.2.3. <i>Gestión de Residuos y Producción en la cabecera parroquial San Luis</i>	9
1.2.4. <i>Residuos Sólidos</i>	9
1.2.5. <i>Clasificación de los residuos sólidos</i>	9
1.2.6. <i>Residuos sólidos orgánicos</i>	11
1.2.7. <i>Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos</i>	11
1.2.8. <i>Residuos de origen animal</i>	11
1.2.9. <i>Estiércol de cuy</i>	12
1.2.10. <i>Estiércol de conejo</i>	12
1.2.11. <i>Problemas generados por los residuos de origen animal</i>	12
1.2.12. <i>Producción per cápita</i>	12
1.3. Compostaje.....	13
1.3.1. <i>Sistemas de Compostaje</i>	13
1.3.1.1. <i>Sistemas abiertos</i>	13
1.3.1.2. <i>Sistemas semicerrados</i>	13
1.3.1.1. <i>Sistemas cerrados</i>	13
1.3.2. <i>Parámetros del compostaje</i>	40
1.3.3. <i>Etapas del proceso de compostaje</i>	41

1.3.4. <i>Microorganismos que intervienen en el compostaje</i>	43
1.2.4. <i>Parámetros de evaluación de la calidad del compost obtenido</i>	44
1.4. Régimen legislativo para la gestión de residuos sólidos.....	44

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	47
2.1. Diseño Práctico.....	47
2.1.1. <i>Modelo de estudio</i>	47
2.1.2. <i>Unidad d análisis</i>	47
2.1.3. <i>Población de estudio</i>	47
2.2.1. <i>Lugar de estudio</i>	48
2.2.2. <i>Determinación de la producción PPC</i>	48
2.2.2. <i>Muestreo de los residuos para análisis inicial</i>	50
2.3.3. <i>Construcción de las pilas de compostaje</i>	51
2.2.4. <i>Determinación de las variables físico-químicas, biológicas de las muestras tomadas a lo largo del proceso</i>	31

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	91
3.1. Ubicación del experimento.....	91
3.2. Lugar deMuestreo.....	91
3.2.1. <i>Caracterización de los residuos a compostar</i>	67
3.2.2. <i>Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje</i>	70
3.2.3. <i>Caracterización de las muestras tomadas durante el proceso de compostaje</i>	71
3.2.4. <i>Perdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje</i>	74
3.2.5. <i>Concentración de macronutrientes y metales pesados</i>	75

CONCLUSIONES.....	101
-------------------	-----

RECOMENDACIONES.....	102
----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación de los residuos sólidos.....	9
Tabla 2-1: Marco legal.....	19
Tabla 1-2: PPC de los residuos orgánicos domiciliarios y de los estiércoles.....	23
Tabla 2-2: Experimentos en estudio.....	25
Tabla 3-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Cd.....	55
Tabla 4-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Pb.....	58
Tabla 5-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Hg.....	58
Tabla 6-2: Concentraciones de estándares para la determinación de As.....	59
Tabla 7-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Se.....	60
Tabla 8-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Na.....	63
Tabla 9-2: Concentraciones de estándares para la determinación de K.....	64
Tabla 1-3: Análisis físico químico y biológico de los materiales iniciales.....	66
Tabla 2-3: Análisis físico químico de las muestras tomadas durante el proceso.....	70
Tabla 3-3: Análisis químico e índice de germinación durante el proceso.....	71
Tabla 4-3: Variables para establecer la disminución de materia orgánica.....	73
Tabla 5-3: Contenido de aniones en compost inicial y final.....	74
Tabla 6-3: Contenido de macronutrientes y metales pesados en el compost maduro.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Mapa de ubicación geográfica parroquia San Luis	48
Figura 2-2: Quema de residuos sólidos	50
Figura 3-2: Toma de muestra de estiércol de cuy y conejo	51
Figura 4-2: Muestreo de los residuos orgánicos domiciliarios	51
Figura 5-2: Cortado de los residuos orgánicos domiciliarios.....	52
Figura 6-2: Medidas de la pila de compostaje.....	53
Figura 7-2: Elaboración de las pilas de compostaje	53
Figura 8-2: Riego en la pila de compostaje	54
Figura 9-2: Control diario de temperatura y humedad del sustrato y ambiental	55
Figura 10-2: Control diario de temperatura y humedad.....	56
Figura 11-2: Muestreo durante el volteo de la pila.....	56
Figura 12-2: Peso de la muestra Fresca.....	58
Figura 13-2: Secado de las muestras	59
Figura 14-2: Molienda de las muestras	60
Figura 15-2: Secado de las muestras a 105°C.....	60
Figura 16-2: Colocación de las muestras en frascos estériles.....	60
Figura 17-2: Colocación de las muestras en el porta muestras del equipo	61
Figura 18-2: Medición de pH.....	63
Figura 19-2: Filtrado de las muestras	64
Figura 20-2: Medición de la CE.....	64
Figura 21-2: Peso de la muestra en el crisol.....	65
Figura 22-2: Traslado de los crisoles a la mufla.....	65
Figura 23-2: Peso de la muestra calcinada	66
Figura 24-2: Medición de Cloruros	68
Figura 25-2: Determinación de aniones	74
Figura 26-2: Medida de las raíces germinadas	76
Figura 27-2: Establecimiento de presencia de polifenoles.....	78
Figura 28-2: Colocación de H ₂ O ₂ en el proceso de digestión	80
Figura 29-2: Extracción de Macronutrientes	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Variación de la temperatura en la pila 1-T1 y pila 2-T2.....	94
Gráfico 2-3: Pérdida de la materia orgánica de P1 y P2.....	98

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** PESO DE LOS RESIDUOS GENERADOS
- ANEXO B.** DATOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (SEMANA 1)
- ANEXO C.** DATOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (SEMANA 2)
- ANEXO D.** DATOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (SEMANA3)
- ANEXO E.** DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA PROMEDIO
- ANEXO F.** TOMA DE MUESTRA (MÉTODO DEL CUARTEO)
- ANEXO G.** PREPARACIÓN DE MUESTRAS INICIALES
- ANEXO H.** PREPARACIÓN DEL TERRENO Y RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS
- ANEXO I.** TRASPORTE, PESAJE Y ADECUACIÓN DE LOS RESIDUOS
- ANEXO J.** CONSTRUCCIÓN DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE (MÉTODO WINDROW)
- ANEXO K.** CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LAS PILAS
- ANEXO L.** GIRO DEL MATERIAL COMPOSTADO Y MUESTREO
- ANEXO M.** FASE DE MADURACIÓN
- ANEXO N.** TOMA DE MUESTRA Y RECOGIDA DE COMPOST FINAL
- ANEXO O.** ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C	Carbono
Cd	Cadmio
CE	Conductividad eléctrica
C/N	Relación Carbono y Nitrógeno
CRCUy	Compostaje residuos y estiércol de cuy
CRCNJ	Compostaje residuos y estiércol de conejo
H	Porcentaje humedad
HCl	Ácido clorhídrico
Hg	Mercurio
K	Potasio
MO	Porcentaje de materia orgánica
MP	Metales pesados
N	Nitrógeno
Na	Sodio
P	Fósforo
PPC	Producción Per cápita
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrógeno
RSD	Residuos sólidos domiciliarios
Se	Selenio

RESUMEN

El presente trabajo se basó en el estudio comparativo del compostaje por pilas móviles de residuos sólidos domiciliarios de la cabecera parroquial San Luis, en la ciudad de Riobamba; con estiércol de cuy y conejo en diferentes porcentajes. Se ejecutó el análisis inicial de los residuos a compostar calculando una adecuada relación C/N, tamaño de partícula y porcentaje de humedad para garantizar que el proceso sea óptimo. Seguidamente se montaron dos pilas de una tonelada de 1,5 metros de altura, 2 metros de ancho y 3 metros de largo cada una, por técnica de volteo (windrow); P1 (residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de cuy + aserrín) y P2 (residuos orgánicos domiciliarios + estiércol de conejo + aserrín), en proporciones de 65% de residuos, 25% de estiércol y 10% de aserrín. Durante el proceso se realizó el control de la temperatura y de la humedad tanto del sustrato como del ambiente, también se realizaron ocho volteos a lo largo del proceso, y en cada volteo se tomó una muestra representativa, en las cuales se estudió variables físico-químicos, químicos y biológicos: pH, CE, %MO, Corg, NT, relación C/N, polifenoles solubles e índice de germinación para establecer el desarrollo del proceso. Para el análisis del compost final se determinó también la concentración metales pesados y de macronutrientes. Concluyendo que las muestras resultaron tener pH alcalinos, CE adecuados, %MO relativamente altos, el compost final presento valores de C/N y CE óptimos respecto al grado de solidez para un compost maduro. En relación a los valores de macronutrientes y metales pesados, estos resultaron por debajo de los límites permisibles. Finalmente se recomienda elaborar abonos orgánicos mediante el tratamiento de los residuos orgánicos generados en los hogares.

Palabras clave: <COMPOSTAJE>, <RESIDUOS>, <COMPOST>, <TÉCNICA DE VOLTEO>, <ESTIÉRCOL DE CUY>, <ESTIÉRCOL DE CONEJO>, <PARÁMETROS>.



SUMMARY

The current research is based on the comparative study of moveable compost piles generated with household solid waste from San Luis rural parish, located in Riobamba city; this compost was made with different percentages of guinea pig and rabbit manure. An initial analysis of the waste to be composted was carried out calculating an adequate C/N ratio, particle size and humidity percentage in order to guarantee an optimal process. Then, two one-ton piles of 1.5 meters high, 2 meters wide and 3 meters long each were collected by using windrow turning technique, which used P1 (household organic waste + guinea pig manure + sawdust) and P2 (household organic waste + rabbit manure + sawdust, in proportions of 65% waste, 25% manure and 10% sawdust). During the process, it was necessary to monitor the temperature and humidity of both, the substrate and the environment. In addition, eight turns were performed along the process and during each turning process, a representative sample was taken, in which physical-chemical and chemical-biological variables like pH, CR, MO percentage, Corg, NT, C/N ratio, soluble polyphenols and germination index were studied for the development of the process. For the analysis of the final compost, the concentration of heavy metals and macronutrients was also determined. Thus, it was concluded that the samples reflect alkaline pH, adequate CR, and MO percentage relatively high. The final compost reflected optimal C/N and CR values related to the degree of solidity for a mature compost. Regarding the macronutrients and heavy metals values, it is evidenced that they are under the permissible limits. Finally, it is recommended to prepare organic fertilizers through the treatment of organic waste generated at home.

Keywords: <COMPOSTING>, <WASTE>, <COMPOST>, <TURNING TECHNIQUE>, <GUINEA PIG MANURE>, <RABBIT MANURE>, <PARAMETERS>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesántez Mg
0603289877

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

La provincia de Chimborazo cuenta con una población de 524,004 habitantes (Cruz,2020: p. 32), con una extensión de 6578,10 Km². La principal actividad económica de Chimborazo es la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, la cual, a partir del año 2017 aporta al PIB con \$311.881.000, situación que se mantuvo hasta el año 2020 (Sánchez, 2021: p. 4). Se divide en 10 cantones y 45 parroquias rurales, y una de estas parroquias es San Luis, perteneciente al cantón Riobamba, la misma que fue la base de información para la presente investigación.

Del total de la población económicamente activa (PEA) de la parroquia San Luis, aproximadamente el 62,80 % y 6,30 % se dedica a la agricultura y a la ganadería respectivamente, lo cual permite verificar que las actividades implicadas en dichas prácticas tanto ganaderas como agrícolas generan desechos, lo que conlleva a un problema ambiental, porque no existe una adecuada gestión de los mismos (Santillán et al., 2015: p.16).

La cabecera parroquial san Luis cuenta con una microempresa y dos manufactureras, que ofrecen a la ciudadanía productos lácteos y frutales, cuyos residuos mayoritariamente de las frutas son vertidos al suelo sin ningún tratamiento previo (Santillán et al., 2015: p.88).

La inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, mayoritariamente los de tipo orgánico trae consigo problemas sociales y ambientales, que atentan contra el ambiente y la salud de las personas, específicamente en la cabecera parroquial San Luis perteneciente al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, la cual produce contaminación visual, formación de malos olores, proliferación de enfermedades transmitidas por vectores, la contaminación del aire, agua, suelo, producción de gases efecto invernadero y la generación de lixiviados, debido al incremento de la población, deficiente educación, falta de cultura e interés y participación comunitaria (Jiménez, 2015: pp.1-2)

Otra actividad que se da en la cabecera parroquial es la crianza de animales menores, principalmente conejos y cuyes, actividad que produce altas cantidades de residuos ganaderos como estiércoles y purines, que los agricultores aplican sin esperar el tiempo necesario para que este se descomponga, lo cual trae consigo efectos negativos para los cultivos, principalmente la presencia de patógenos, alto contenido de nutrientes, eutrofización, altos contenidos de nitrógeno lo que causa desequilibrio en los suelos, puesto que al no ser descompuestos pueden desarrollarse patógenos que originan enfermedades o daños en la biología de las plantas (Barreros, 2017: pp.1-2).

De la totalidad de residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera parroquial San Luis, una fracción es vertida directamente al medio ambiente (suelos de cultivo y recursos hídricos aledaños), otra parte es recogida en carros recolectores, mientras que la mayor fracción se deposita

en las propias parcelas de cultivos para aprovechar su valor fertilizante, sin tratamiento alguno, lo que conlleva a la contaminación y acidificación del mismo. Además, la relación C/N no óptima provoca un déficit de nitrógeno y su inmovilidad, conllevando a problemas en las fases fértiles del cultivo (Basantes, 2018: pp.22-24). Las recientes perspectivas en relación a la gestión de residuos indican que este material se puede ser reutilizar y valorizar.

Antecedentes

La cabecera parroquial San Luis se encuentra al Oeste del Cantón Riobamba, ubicado a 1° 42' 19" de latitud Sur y a 78° 38' 39" de longitud Occidental, a una altitud de 2662 msnm. Está integrada por 1835 habitantes de acuerdo al censo reportado por el INEC 2010. Su clima es templado Sub andino cuya temperatura máxima es de 18° C, mínima de 10° C y promedio 14° C (Santillán et al., 2015: p.22).

La agricultura y ganadería, son las principales actividades a las cuales se dedican la mayor parte de la población, el suelo es empleado para cultivo de: hortalizas, tomate riñón, frutilla, alfalfa, maíz, papa, tomate de árbol, mora, brócoli, pimiento, frejol, arveja, cuya producción se ha destacado en el mercado local y nacional. También cuenta con una microempresa y dos manufactureras de elaboración de leche y frutas (Santillán et al., 2015: pp.23-88).

Según (Santillán et al., 2015: p.237), el aumento colectivo ha tenido un crecimiento de 4.03% anual, originado un incremento en la generación de residuos y al no manejar una gestión adecuada de los mismos, la población opta por incinerar o arrojar al medio ambiente, provocando contaminación en afluentes de agua, sembradíos, etc. (Santillán et al., 2015: p.168).

Según el Documento Técnico “Estadística Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales”, para el año 2018 el promedio diario de residuos fue 12739,01 toneladas, siendo el 84,7% (10791,03 ton/día) gestionada de forma no diferenciada y el 15,3% (1,948 ton/día) de forma diferenciada. En los 221 GAD Municipales, 161 realizaron caracterización de residuos sólidos producidos, por tipo de residuos en el área urbana, teniendo como resultado el 58 % de residuos orgánicos y el 42 % de residuos inorgánicos (cartón, papel, plástico, vidrio, madera, metal, chatarra, caucho, textil, focos, pilas y desechos sanitarios no peligrosos, entre otros) (Cando, 2018: pp.5-7).

Se han realizado algunas investigaciones relacionadas con este tema, como reutilización de los desechos tipo orgánico del municipio de los cantones Colta, Alausí y Guamote, a través de métodos biológico como el compostaje (Mejía y Ramos, 2019: p.19-20), siendo uno de sus objetos la comparación de las calidades de los abonos producidos mediante el estudio de sus variables físico químicas, químicas y biológicas.

En Riobamba, se han realizado estudios para la elaboración y caracterización de compost con desechos tipo orgánico producidos en el mercado del sur de la ciudad de Riobamba en el año 2015

y de residuos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el año 2016, cuya finalidad fue la clasificación y cuantificación de los residuos; y la verificación de la calidad y del rendimiento del compost obtenido a través de los análisis pertinentes de sus propiedades.

En la parroquia San Luis, específicamente en la cabecera parroquial, también se han ejecutado investigaciones sobre la caracterización de residuos sólidos y propuestas técnicas para transporte y rutas de recolección en el año 2018, cuyo fin fue determinar estratos socioeconómicos mediante la aplicación de encuestas, caracterizar los residuos sólidos y elaborar una propuesta para transporte y rutas de recolección (Santillán, 2018: p. 17).

Justificación

El manejo sostenible de los residuos sólidos urbanos debe comprender un manejo integral desde la generación hasta su disposición final, sanitaria y ambientalmente adecuada, para prevenir los riesgos a la salud de la población y el deterioro de la calidad ambiental. (Tixe y Ruiz, 2018: p.19).

Este trabajo de investigación ayudará a la prevención del daño producido por vectores que aparecen por el almacenamiento de desechos en lugares inadecuados, sin un previo tratamiento ni control, también se disminuirá la contaminación del aire producido por malos olores, la contaminación del suelo y del agua por la generación de lixiviados. A más de esto, se logrará obtener un producto que puede ser utilizado como un abono orgánico (Tixe y Ruiz, 2018: pp.20).

Ante esta realidad, la presente investigación busca tratar los distintos residuos sólidos orgánicos domiciliarios generados de la cabecera parroquial San Luis junto con el estiércol de especies menores (cuy y conejo), que actualmente son depositados en espacios baldíos y cultivos, o son incinerados, en vez de optar por su reutilización.

La cabecera parroquial “San Luis” produce un total de 1200 y 1500 especies de cuyes y conejos respectivamente, el 100% está distribuido de la siguiente forma: 50% para autoconsumo y el otro 50% para vender (Santillán et al., 2015: p.107).

Para la determinación de la Producción Per Cápita de residuos los residuos en esta investigación, se utilizó el método de pesaje generados en 10 domicilios de la cabecera parroquial San Luis. A partir de la información tomada durante 3 semanas consecutivas sobre la cantidad de residuos que se generan diariamente en la cabecera parroquial “San Luis” se determinó que cada habitante, produce en promedio aproximadamente 0,5081 kg/día*hab. Respecto a los residuos de origen animal, se generan 0,5081 y 0,2286 kg/ día*especie de cuy y conejo respectivamente.

La ciudadanía cumple un rol importante en la generación y separación de residuos, desde recolectarlos y separarlos en residuos orgánico e inorgánicos, para ser aprovechados, y así disminuir, mitigar o eliminar los problemas que estos causan mediante las técnicas adecuadas, una de ellas es el compostaje. Se plantea emplear esta técnica por tratarse de un proceso relativamente fácil y de tecnología accesible.

Entre los beneficios que presenta la técnica de compostaje están: obtener un producto estabilizado, con alto contenido de macro y micronutrientes que se pueda emplear con propósitos agrícolas, contribuyendo a la productividad de la tierra, el mejoramiento de la estructura del suelo, la optimización de la actividad biológica del suelo, entre otros beneficios (TIBOX AGRÍCOLAS, 2019: p. 2019).

Además, se plantea hacer una comparación para evaluar la influencia en la calidad del compost obtenido, este estudio comparativo determinará cuál de las dos alternativas, compostaje de residuos más estiércol de cuy y compostaje de residuos más estiércol de conejo, será más efectiva respecto a la calidad del producto final. De esta manera se aportara al incremento de nuevas

tecnologías para la producción de abonos que funcionen como enmiendas agrícolas para los suelos, además de contribuir a la preservación de la biodiversidad (Tixe y Ruiz, 2018: pp.21).

Por lo tanto, el trabajo desarrollado busca ejecutar la alternativa expuesta para el tratamiento adecuado de la gran cantidad de residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera Parroquial San Luis al igual que el estiércol de especies menores y evitar que su disposición final sea un botadero a cielo abierto, la incineración o colocado directamente en los cultivos. “Con la aplicación de la técnica del compostaje es posible el reciclaje de potenciales nutrientes para plantas” (Valencia, 2016: p.18) y la obtención de un producto exento de patógenos, con solidez y con óptimas variables físico-químicas biológicas.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Realizar un estudio comparativo del compostaje por pilas móviles de residuos sólidos domiciliarios de la cabecera parroquial San Luis con estiércol de cuy y con estiércol de conejo en diferentes porcentajes.

Objetivos Específicos

- Determinar la producción per cápita de los residuos sólidos domiciliarios.
- Caracterizar los residuos sólidos domiciliarios y los estiércoles de cuy y conejo a través de pruebas físico-químico, químicas y biológicas.
- Realizar un control del seguimiento del proceso de compostaje.
- Realizar un estudio comparativo y evaluar la calidad de los productos generados a través de pruebas físico - químicos, químicos y biológicos para su aplicación posterior como enmienda orgánica en los suelos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generación de residuos sólidos en Ecuador

Los GADM, en el año 2010, reportaron una PPC de 0,73 kg/hab*día de residuos generados, es decir 10.928,08 toneladas diarias, o 3.988.750 toneladas anuales. Para el 2019, la PPC se eleva a 0,74 kg/hab*día, es decir, 4,8 millones de toneladas al año, evaluando que para el año 2021 la producción per cápita ascienda a 0,76 kg/hab*día (Ministerio del Ambiente, 2010: p.11).

La actividad común de los ecuatorianos sobre la gestión de los residuos sólidos ha provocado al ambiente la destrucción de la biodiversidad de especies y de ecosistemas, ya que sin pensarlo se arroja basuras a los ríos, calles, quebradas y mares. “El 70% de población bota los residuos sólidos a cielo abierto; el 15% en los ríos y un 9% la incinera” (Rivadeneira, 2018: p.27).

1.2. Gestión ambiental de los residuos sólidos en Ecuador

En Ecuador, la gestión de los desechos es obligación del GADM, el cual puede ser facilitado de manera directa, por convenio, por dirección compartida, por comisión a otro gobierno o comunidad. En el año 2018 de los 221 GADM, 174 gestionó los residuos sólidos a través de unidades, departamentos o direcciones del GADM, 12 lo hicieron como empresa municipal y 32 lo realizaron como mancomunidad (INEC, 2020: p.5).

Sin embargo, no todas las ciudades del Ecuador realizan una gestión adecuada de los desechos, es decir, no cuentan con rellenos sanitarios. Las que disponen de un relleno sanitario son muy pocas, donde se realice una óptima gestión de los residuos generados. La mayoría de estos son botaderos a cielo abierto donde se generan malos olores, proliferación de vectores y plagas (Rivadeneira, 2018b: p.27).

1.2.1. Generación de residuos sólidos en Riobamba

El cantón Riobamba, perteneciente a la Provincia de Chimborazo, integrada por 5 parroquias urbanas y 11 parroquias rurales, y de acuerdo al INEC (2010) cuenta con una población de 225.741, la cual genera una producción per cápita promedio de 0,6 kg/hab/día (Basantes&Chiluiza,2017: p.21).

1.2.1.1. Gestión ambiental de los residuos sólidos en Riobamba

La Ordenanza No. 009-2019 del Concejo Municipal del cantón Riobamba regula la gestión integral de residuos sólidos del cantón (GADMR, 2019: p.6), en coordinación y administración de la Dirección General de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene, promoviendo las siguientes actividades:

1.2.1.2. Campañas informativas de sensibilización

En coordinación de la Dirección General de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene y la Dirección General de Gestión de Comunicación del GADM de Riobamba, se promueve campañas informativas de sensibilización y educación a la ciudadanía sobre el manejo de residuos sólidos (GADMR, 2019: p.7).

1.2.1.3. Convenios interinstitucionales

El GADM tramita el acuerdo de convenios con instituciones tanto públicas como privadas y mixtas para la elaboración de planes, programas y el desarrollo de proyectos de gestión de residuos sólidos, cuyo fin es afianzar la gestión integral de los residuos sólidos generados en el cantón (GADMR, 2019: p.7).

1.2.1.4. Coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales

La Dirección General de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene mediante el Subproceso de Desechos Sólidos coordina con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales el desarrollo de planes y proyectos de gestión de residuos sólidos, con la finalidad de mejorar el servicio de aseo en las zonas rurales del cantón (GADMR, 2019: p.7).

1.2.1.5. Coordinación ciudadana

La Dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene a través del Subproceso de Desechos Sólidos, impulsa la organización y la participación ciudadana, con el propósito de que la comunidad se involucre en las tareas de limpieza, higiene y salubridad de su sector, barrio o parroquia (GADMR, 2019: p.7).

1.2.2. Gestión de Residuos y Producción en la cabecera parroquial San Luis

En la cabecera parroquial existe una inadecuada eliminación de los residuos, lo que implica el incremento de vectores y daños ambientales que afectan al progreso integral de sus habitantes, la cabecera parroquial no cuenta con un manejo técnico de los desechos, en ciertos sectores se aprovecha los residuos orgánicos (restos de cocina y estiércol de ciertos animales) para utilizarlos en los cultivos como abonos sin ningún tratamiento previo, pero también se arroja la basura orgánica en ríos, quebradas y fuentes de agua, afectando a las propiedades físicas y químicas (DBO) del agua, zonas de drenaje, reducción de la disponibilidad del recurso y conservación del recurso. Mientras que los residuos inorgánicos en ocasiones son incinerados o depositados en quebradas. De manera cuantitativa el 47% depositan la basura en el recolector, el 6% tiran en los terrenos, el 42% lo queman, el 2% lo entierran y el 1% lanzan al suelo o afluentes de agua (Santillán et al., 2015: p.129).

1.2.3. Residuos Sólidos

Son producto o subproducto en estado sólido o semisólido, generados por los organismos, ciclos naturales y por las acciones que ejecuta el hombre en las distintas actividades de elaboración y consumo de productos y servicios, los cuales son desechados debido a que ya no presentan utilidad para la actividad principal que se está desarrollando (Ruiz, 2010: p.27).

1.2.4. Clasificación de los residuos sólidos

Tabla 1-1: Clasificación de los residuos sólidos

Según su composición	Orgánicos	Residuos biodegradables, de origen biológico, representados por los desechos alimenticios, cáscaras de fruta, cáscaras de huevos, restos vegetales, huesos, entre otros. Los cuales son putrescibles y representan una fuente importante de atracción de vectores y generación de olores.
	Inorgánicos	Residuos cuyo origen no es orgánico, los cuales no pueden degradarse naturalmente, y si esto es posible su descomposición es demasiado lenta como es el caso de los plásticos, metales, caucho, vidrio, pilas, entre otros.
Según la utilidad económica	Reciclables	Son residuos seleccionados para reutilizarlos como materia prima y así reincorporarlos al ciclo

		del consumo.
	No reciclables	Residuos que no se pueden reutilizar, debido a las características que estos poseen o por la no disponibilidad de tecnología de reciclaje.
	Residuos Institucionales	Se definen como aquellos residuos cuyo foco de generación son establecimientos educativos, militares, entidades públicas, edificaciones destinadas a oficinas, etc.
Según su Origen	Residuos Municipales	Son residuos originados por cualquier servicio municipal, como barridos de avenidas, plazas, mercados, entre otros.
	Residuos Industriales	Representados por sustancias tóxicas que se generan en las industrias, que causan daño al ambiente y al ser humano; donde la cantidad de residuos que se generan está vinculada a la tecnología utilizada, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares, combustibles empleados, envases y embalajes del proceso, etc.
	Residuos Hospitalarios	Residuos generados por actividades como curaciones, intervenciones quirúrgicas, laboratorios de análisis, los cuales varían desde residuos de tipo residencial y comercial, a residuos de tipo médico conteniendo sustancias peligrosas o patógenas cuya gestión va desde la recolección hasta su disposición final establecido en base a Normas de salud y por el Ministerio de Ambiente.
	Residuos agrícolas	Residuos de tipo orgánico o inorgánico procedentes de la actividad agrícola.
Según su riesgo	Residuos peligrosos	Residuos considerados como peligrosos por tener propiedades naturales, pudiendo ser tóxicos, inflamables, reactivos, corrosivos, explosivos, entre otros, los cuales generan riesgos para la salud y el medio ambiente.

	Residuos inertes	Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables, utilizados como materiales de relleno, pueden ser tierras, escombros, etc.
--	------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente:(Valencia, 2016:p. 22-25).

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

1.2.5. Residuos sólidos orgánicos

Son todos los residuos biodegradables, que en condiciones de vertido, pueden desintegrarse o degradarse rápidamente de forma aerobia o anaerobia, transformándose en otro tipo de materia orgánica tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel o el cartón (Campitelli, 2014:p 12).Son residuos biodegradables también los residuos provenientes de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca y los procedentes de la preparación y elaboración de los alimentos (Rojas y Sánchez, 2015: p.4).

1.2.6. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos se los pueden aprovechar mediante su valorización:

Las operaciones de valorización de los residuos incluyen, entre otras, su utilización como combustible o como otro medio de generar energía, las operaciones de compostaje y otras transformaciones biológicas y su posterior utilización en el tratamiento de los suelos produciendo así un beneficio para la agricultura o una mejora ecológica de los mismos (Campitelli, 2014: p.16).

1.2.7. Residuos de origen animal

Estos desechos son los excrementos de los animales, proveniente de la digestión de los alimentos que consumen; normalmente entre 60 al 80% de lo que consume el animal lo elimina como estiércol. La calidad de este depende de la especie y del control que se le da al estiércol antes de ser utilizado. El promedio de elementos químicos que contiene es de 1,5% de N, 0,7% P y 1,7% K. Al incorporar al suelo, este permite mejorar las propiedades biológicas, físicas y químicas del mismo, en una cantidad no menor de 10kg/ha al año, una vez que sea tratado (descompuesto), y si el suelo presenta una humedad óptima (Barreros, 2017: p.24).

1.2.9. Estiércol de cuy

El estiércol de cuy es utilizado para la elaboración de abonos orgánicos, principalmente por su alto contenido de nutrientes de elementos menores, es uno de los mejores, presenta ventajas tales como no genera olores, no atrae vectores, es sólido, mantiene la fertilidad del suelo, no contamina el suelo y permite obtener cosechas sanas (Barreros, 2017: p.77).

1.2.10. Estiércol de conejo

Los conejos producen estiércol con alto contenido de nitrógeno, que al hacer aplicado no producen quemaduras a las plantas, es decir, puede ser aplicado a cualquier tipo de cultivo. Es una fuente importante de materia orgánica, pero con bajo contenidos en nutrientes, la calidad del abono depende del tipo de especie, la alimentación, la forma en que el abono es recolectado y aplicado a los suelos (Lagua, 2011: p.3).

1.2.11. Problemas generados por los residuos de origen animal

Los estiércoles de animales representan un problema ambiental, son considerados desechos inestables y al no ser tratados o descompuestos previamente originan impactos como la generación de olores, emisión de gases de efecto invernadero y acidificación del suelo. Los estiércoles también provocan impactos al agua, al contaminar las aguas subterráneas por la irrigación de nutrientes a través del suelo. La aplicación directa y de forma indiscriminada de estos pueden incrementar problemas de salinidad, llevando el suelo a pérdidas estructurales y/o a la inhibición del crecimiento vegetal (Basantes, 2018: p.31).

1.2.12. Producción per cápita

La producción per cápita es la cantidad de residuos sólidos generados por una persona en un día. Esta cantidad de residuos dependerá del número de habitantes y de las actividades o hábitos que tengan los habitantes de una comunidad o ciudad, es decir, es la relación que existe entre la cantidad en peso de residuos sólidos recolectados y la población. Para su estimación se requiere de la siguiente ecuación:

$$PPC = \frac{Kg. RS recolectados}{Número de habitantes * día}$$

Las unidades de la producción per cápita pueden ser varias como: kilogramos por habitante y por día (Jiménez, 2015: p.21).

1.3. Compostaje

El compostaje se cataloga dentro de los procesos de reciclaje y de valorización de los residuos sólidos orgánicos, es una técnica que se utiliza con el objetivo de resolver, en parte, la contaminación ambiental, es decir, disminuir la presencia de éstos en el medio. Se trata de un sistema aerobio, por lo tanto, con menor producción de olores y la generación de un producto estable denominado compost. Es una de las opciones para tratar los residuos orgánicos de diversos orígenes, con la finalidad de darle valor agregado, puesto que representan aproximadamente el 40% de los residuos sólidos urbanos (RSU). Entre los beneficios que ofrece esta su aplicación al suelo para mejorar sus condiciones físicas, químicas y biológicas de (Campitelli, 2014: p.19).

1.3.1. Sistemas de Compostaje

Existen diferentes clasificaciones de las tecnologías de compostaje. Según la movilidad que se realice al material a compostar se tiene: sistemas dinámicos y estáticos. Según la forma física en la que se coloca el material se tiene: pilas, trincheras, mesetas, zanjas, etc. (Gavilanes, 2016: p.53). La clasificación tradicional se realiza en función del aislamiento del material clasificándose en: sistemas abiertos, semi- cerrado y cerrado, diferenciándose entre ellos por el tipo de aireación.

1.3.1.1. Sistemas abiertos

Son los más empleados por ser asequibles y de tecnología simple, utilizadas en comunidades de zonas en las que se dispone de terreno. De acuerdo a la forma de abastecimiento de oxígeno, estos pueden ser pilas volteadas y pilas estáticas aireadas. En las pilas volteadas el material orgánico se acomoda de acuerdo a la cantidad, por tanto, es de longitud, ancho y altura variada. En las pilas estáticas aireadas el material a compostar es colocado en un sistema que sopla aire a través de la pila, es decir, posee una aireación forzada (Jara, 2016: p. 53).

1.3.1.2. Sistemas semicerrados

Estos sistemas están estructurados por un contenedor cubierto y cerrado que requiere de un sistema de aireación mediante tuberías ubicadas a lo largo del techo, con la finalidad de controlar las emisiones y olores generados durante el proceso. Además, los gases emitidos son tratados a través de biofiltros, antes de que sean emanados al exterior (Valverde, 2015: p. 52).

1.3.1.3. Sistemas cerrados

Estos sistemas requieren un alto costo de inversión y mantenimiento, debido a que el proceso de degradación de los residuos orgánicos se ejecuta en un emplazamiento cerrado, es decir, requiere de un equipamiento múltiple. Dentro del sistema existe la posibilidad de registrar parámetros como pH, temperatura, cantidad de gas, tiempo de retención, etc. También cuenta con equipamiento para el tratamiento de gases que se expulsan, favoreciendo la gestión de lixiviados. Son sistemas que alcanzan altos costos en: inversión, personal capacitado y mantenimiento continuo. Puede ser de tipo contenedor, tambor o túnel (Ávila y Moyano, 2019: p.14).

1.3.2. Parámetros del compostaje

Cuando se realiza un proceso de compostaje se debe mantener un control del proceso, por lo tanto, existen parámetros para observar su evolución. Entre los parámetros más importantes se tiene: la humedad, la aireación, el pH, la temperatura, y la relación carbono/nitrógeno.

- **Humedad**

La humedad es una variable muy importante en el proceso de compostaje, debido a que los microorganismos necesitan de agua para realizar sus necesidades fisiológicas, si el porcentaje de humedad es mínimo (30%), la gran cantidad de microorganismos no sobreviven. Por el contrario, altos porcentajes de humedad imposibilita que exista aireación en las pilas de compostaje. El material entra en podredumbre, ocasionando olores pestilentes. El porcentaje de humedad óptimo debe estar en el rango de 50 a 70 %. Esta variable tiene relación con la porosidad y el contenido en el aire en los poros, por tanto, se debe procurar una porosidad adecuada (>20% v/v) (Bortzirietako,2022: p.2).

- **Temperatura**

La temperatura es una variable fundamental del compostaje, debido a que actúa como un indicador de la evolución del proceso, precisamente por la actividad microbiana en la digestión del material orgánico. Al principio la temperatura va desde los 14 a 40 °C (microorganismos mesófilos) y conforme avanza el proceso incrementa. Temperaturas en el rango de 45-55°C (microorganismos termófilos) facilitan la velocidad de degradación, temperaturas superiores a 55°C (microorganismos termófilos) optimizan la sanidad del proceso. Temperaturas por debajo de los 45°C ayudan a la variabilidad microbiana, así como reduce la evaporación de nitrógeno (Castillo, 2019a: p.34).

- Aireación

Para que el proceso de compostaje se desarrolle adecuadamente, es necesario garantizar una adecuada oxigenación, puesto que si existe un exceso de oxigenación puede traer efectos como el enfriamiento de la masa y disminución de la actividad microbiana. Mientras que una baja aireación puede causar la sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, retardo de la degradación del material orgánico, producción de malos olores, ect. Por lo tanto, el rango óptimo de la concentración de oxígeno oscila entre el 10 al 18% (Camiletti, 2016: p.15)^

- Relación C/N

La relación C/N es un indicador en el proceso de compostaje, mediante la cual se estima su evolución y calidez, la relación adecuada inicial oscila entre 25:1 a 35:1, lo que se interpreta como 25 a 35 partes de carbono por 1 de nitrógeno. Se recomienda que la relación C/N del material de partida sea adecuada, para utilizar y preservar el contenido carbono y del nitrógeno, si esta oscila entre 35:1 a 40:1, la actividad microbiológica disminuye y por ende el proceso también, debido a que los microorganismos oxidan el exceso de C, por la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de microorganismos (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020: p. 42).

- Tamaño de la partícula

El tamaño de las partículas tanto de los desechos vegetales y animales, permite una mayor relación superficie/volumen o lo que es lo mismo, mayor actividad microbiana. Una menor dimensión ocasiona una menor porosidad, la reducción de la disposición del oxígeno y el descenso de la oxidación del material a compostar. Normalmente, se aconseja que las dimensiones de las este partículas entre 1 y 5 cm, por ello es necesario, hacer uso de máquinas picadoras o herramientas manuales, como machetes y lograr dichas dimensiones (Bohórquez, 2019: p. 21).

- pH

El ph debe ser analizado, debido a que permite evaluar la actividad biológica que actúan en el proceso, como las bacterias y los hongos. El rango adecuado del pH oscila entre 5,5 y 8. Se debe tomar en cuenta que el pH puede bajar durante el proceso, debido a la descomposición de compuestos, pero con la evolución del proceso debe incrementar a 5,5; es decir, al inicio es acido, después se vuelve básico y finalmente debe alcanzar la neutralidad. Esto dependerá del origen de

los materiales y su transformación en cada fase del proceso (Manual de compostaje para zonas frías; 2018: p.42).

1.3.3. Etapas del proceso de compostaje

En el proceso de compostaje existen diferentes etapas las cuales son: Etapa mesófila, etapa termófila, etapa de enfriamiento y etapa de maduración.

- Etapa mesofílica

Es el periodo en el que el material a tratar posee alto contenido de materia orgánica. Como efecto de la descomposición, la temperatura se incrementa (10-40 ° C), por tanto, es necesario un adecuado y suficiente suministro de oxígeno en el interior de la pila de compostaje para incrementar la población microbiana. Por lo tanto, se mejora la actividad microbiana y se minimiza la emisión de sustancias pestilentes. Entre los microorganismos con metabolismo oxidativo y fermentativo, con mayores niveles en esta fase son las bacterias gram negativas y productoras de ácido láctico (Agencia de residuos de Catalunya; 2016: p.11).

- Etapa Termófila

Es la fase, en la que los microorganismos (mesófilos) que se desarrollan a 45° C, desaparecen y son sustituidos por microorganismos (termófilos) que toleran hasta 100° C, los cuales permiten la degradación de polisacáridos complejos ricos en C (celulosa y la lignina) y la conversión del N en amoníaco, haciendo que el pH incremente. Las altas temperaturas facilitan la higienización de la mezcla, puesto que eliminan todo tipo de contaminante biológico (BBVA, 2021: p. 2).

- Etapa de enfriamiento

Esta etapa es conocida como etapa de estabilización, en la cual hay una declinación de la temperatura menor 40°C, a partir de esta los organismos mesófilos reinician su actividad. Las bacterias y los hongos convierten una parte de la celulosa en lignina y lignoproteína, además, aparecen microorganismos e invertebrados y el pH disminuye ligeramente entre 7.0 a 7.5. Esta fase dura varias semanas (Pillco, 2020: p. 28).

- Etapa de maduración

Esta etapa inicia cuando el material orgánico está totalmente degradado y la temperatura ha declinado (temperatura de 50 a 20 °C). Al finalizar esta etapa, el material orgánico inicial se ha transformado en un producto altamente humificado, esta etapa dura meses (Arcadis, 2019: p. 14), en los cuales ya no existen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, produciendo un producto final altamente humificado (Castillo, 2019: p.32).

1.3.4. Microorganismos que intervienen en el compostaje

- Bacterias

Son un grupo de microorganismos cuya característica principal es su diversidad metabólica, puesto que emplean un amplio rango de enzimas que degradan químicamente gran cantidad de compuestos orgánicos, dentro del grupo se destacan las Pseudomonas, Bacillus y Actinomiceto streptomyces. Están presentes en casi todas las fases de compostaje, decrecen en la fase de maduración, representan del 80% al 90% de los organismos en un gramo de compost (Laich, 2011: pp.2-3).

- Hongos

Corresponden un grupo muy diversos, los cuales degradan y solubilizan compuestos orgánicos complejos y compuestos inorgánicos, dentro de este grupo se destacan los Zygomycetes, Ureidomycetes, Saccharomycetes, Basidiomycetes y Ascomycetes. Prevalecen en las etapas de enfriamiento y maduración, debido a que los alimentos asimilables terminaron.

- Actinomicetos

Los actinomicetos son bacterias filamentosas semejantes a los hongos, cuyo desarrollo consiste en un micelio ramificado que tiende a fragmentarse en elementos bacterianos. Muchos se encuentran en el suelo, son de vida libre. Se enfatizan por su función en la solubilización de la pared celular de las plantas, hongos e insectos, de ahí su importancia en el proceso de compostaje y en la formación de suelos, debido a que existe una diversidad de especies de actinomicetos, principalmente las que pertenecen al género Streptomyces, los cuales son óptimos agentes de control biológico debido a su capacidad para originar compuestos antifúngicos que inhiben el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos, produciendo: enzimas hidrolíticas extracelulares

(quitinasas y β -1,3-glucanasa), las cuales están involucradas en la lisis de las paredes celulares de *Fusarium oxysporum* Schltdl., *Sclerotinia minor* Jagger y *Sclerotium rolfsii* Sacc (Tanya y Leiva, 2019: pp. 4-5).

- Microorganismos Fermentadores

Los hongos aportan con los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo; normalmente necesitan bajas cantidades de nitrógeno, lo que permite la desintegración de la materia como la paja y la madera. Los principales representantes de estos microorganismos pertenecen a las siguientes especies: *Aspergillus oryzae* (por su actividad celulolítica), *Penicillium* sp (óptimos degradadores de lignina y celulosa), *Trichoderma* sp. Este último reconocido por su eficiencia en la desintegración de diferentes cantidades de materia orgánica y en determinadas condiciones pueden ser anaerobios facultativos, tienen una alta capacidad enzimática lo que les permite degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos (Tanya y Leiva, 2019: pp. 4-5).

1.3.5. Parámetros de evaluación de la calidad del compost obtenido

- Macronutrientes

El resultado de estas variables es primordial para valorar la calidad del compost. Destacándose el sodio, carbono, nitrógeno y fósforo; los cuales al agregarlos al suelo podrán ser consumidos por las plantas. Por lo tanto, el compost sólido debe ser abundante en estos macronutrientes debido a que son imprescindibles para el suelo (Chimbo, 2018: p. 41).

- Metales pesados

El compost obtenido a partir de desechos vegetales o animales no supera el contenido de metales pesados, es decir, no implica mayores riesgos de contaminación versus compost obtenidos a partir de lodos. De acuerdo con esto es necesario su determinación tanto del material a compostar como del producto final, con la finalidad de evaluar el contenido de los mismos mediante el control de la información más reciente en la legislación específica (Fernández, 2018: p. 25).

- Índice de germinación

Método desarrollado por Franco Zucconi, también conocido como técnica de Zucconi. Este método es empleado para establecer el índice de solidez del compost y los probables parámetros fototóxicos que pudiesen contener (Fernández, 2018b: p. 42). El procedimiento radica en exhibir semillas, específicamente semillas como la lechuga, a un extracto de compost y colacionar el porcentaje de germinación y el porcentaje de extensión de las raíces con un blanco que es realizado con agua destilada (Fain et al., 2018: p.2).

1.3. Régimen legislativo para la gestión de residuos sólidos

En el Ecuador existe un marco jurídico sobre los residuos sólidos, el cual consta de un conjunto de leyes, normas y reglamentos, que incluye la Constitución Política del Estado, Acuerdos ministeriales, ordenanzas, entre otros.

Tabla 2-1: Marco legal

CUERPO LEGAL	REGISTRO OFICIAL	ARTÍCULO
Constitución de la República del Ecuador.	R.O. No 449, 2008/10/20	14; 15; 72; 73; 264 numeral 4; 413; 414; 415
Ley Orgánica de Salud	Ley No. 64, R.O.S. 423, 2006/12/22	97; 98; 99; 100; 103; 104; 107; 259
Ley de Prevención y control de la Contaminación Ambiental	R.O. Suplemento 418, 2004/09/10	8; 11; 13; 14; 15; 2 literal a
Ley de Régimen Municipal		14 numeral 3a; 148 literal g;
COOTAD	R.O. 2010/10/15	55 literal d; 136; 137; 418 literal e; 431
Código Orgánico Ambiental	R.O. Suplemento 983 de 12-abr.-2017	228; 229; 230; 231; 234
RCOA		561; 562; 565; 573; 574; 576; 587; 593; 595; 597; 598; 599; 603; 604; 606; 609; 611; 805
Acuerdo Ministerial 061	R.O. Edición especial No.316,2015/05/04.	2; 47; 48; 49 literal a, b, e, f, i y j; 51; 52 literal b, c, f, g, h, i, k, l, m, t, u; 54 literal a, b, c, d; 55; 56; 57 literal a, b, c, d, e, f, h, i, j, k, l; 58; 59; 60 literal b, d, e, f, g, h; 61; 62;

		63 literal a, b, c; 66 literal a, b, c, d, e; 67 literal a, d; 68; 73 literal a, c, d, e, f; 74; 75
Acuerdo Ministerial 026	R.O. Suplemento 334,2008/05/12	1; 2
Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas	R. O. No. 249-2008	149; 150; 151
Ordenanza GADM-Riobamba, sobre la gestión integral de residuos sólidos.	R.O. No. 009-2019	Del 4 al 48

Fuente: (Rivadeneira, 2018c: p.53).

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se realizó en:

1. El barrio “La Libertad” de la Parroquia San Luis

Las determinaciones analíticas se realizaron en el:

2. Laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

3. Laboratorio de Ambiente de la Universidad Nacional de Chimborazo.

2.1. Diseño Práctico

2.1.1. *Modelo de estudio*

Para el estudio experimental se realizaron dos pilas de compostaje con estiércoles de especies menores (cuy y conejo respectivamente), con el objeto de comparar la calidad del compost producido, de acuerdo al estiércol aplicado.

2.1.2. *Unidad de análisis*

Se refiere al fraccionamiento representativo de los residuos orgánicos domiciliarios procedentes de la cabecera parroquial “San Luis”. La unidad experimental de la investigación estuvo conformada por aproximadamente 1000 kg por cada tratamiento realizado.

2.1.3. *Población de estudio*

Residuos sólidos orgánicos domiciliarios y ganaderos generados de la cabecera parroquial San Luis, Cantón Riobamba.

2.1.4. *Tamaño de la muestra*

El tamaño de la muestra no se calcula, puesto que se analizan todas las muestras tomadas a lo largo del proceso, teniendo en cuenta tanto los materiales iniciales, como los tomados durante el proceso y del producto final.

2.1.5. Selección de la muestra

El procedimiento utilizado para la recolección de las muestras tanto iniciales, como durante y al final del compostaje, se utilizó el método del cuarteo (NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985), recolectando 7 fracciones de distintos lugares de cada unidad experimental, para al termino recolectar una sola muestra de 1 kg para su correspondiente análisis.

2.2. Metodología

2.2.1. Lugar de estudio

Ubicación

La parroquia San Luis está localizada al Oeste del Cantón Riobamba, cuya altitud es 2662 msnm

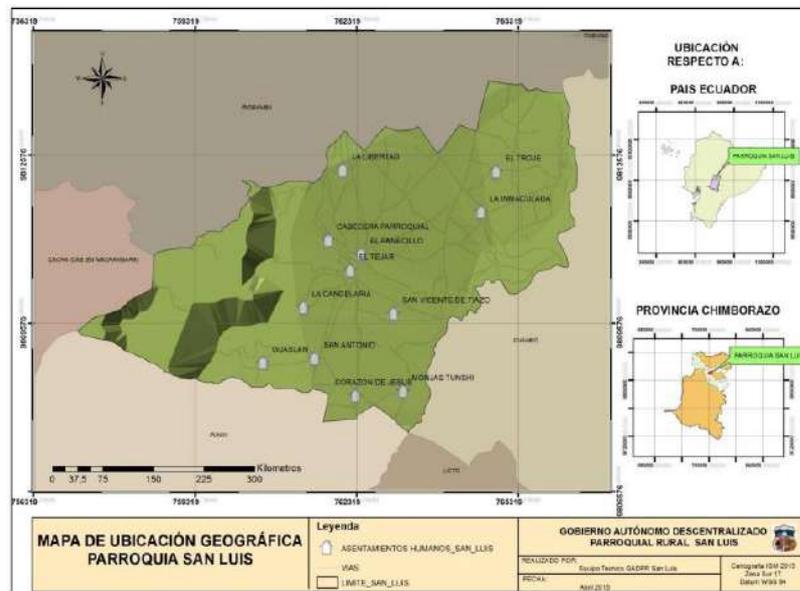


Figura 1-2: Mapa de ubicación geográfica parroquia San Luis

Fuente: PDOTP, 2015.

2.2.2. Determinación de la producción PPC

El levantamiento de información de la presente investigación se determinó a través del pesaje de la cantidad de residuos orgánicos y estiércoles de especies menores (cuyes y conejos) generados en los domicilios de la cabecera parroquial San Luis, cuyo fin fue tomar los datos de los residuos producidos, para establecer la Producción Per Cápita de los mismos.

Debido a que la cabecera parroquial San Luis cuenta con una población pequeña se ejecutó el pesaje de los residuos en 10 hogares, 5 pertenecían al centro de la cabecera parroquial, 3 al sector el panecillo y 2 al sector la Libertad. Para esto se visitó los hogares en un mismo horario durante tres semanas.

2.2.1.1. Análisis y organización de datos

A partir de la información tomada durante 3 semanas consecutivas sobre la cantidad de residuos que se generan diariamente en la cabecera parroquial “San Luis” se determinó que cada habitante, produce en promedio aproximadamente 0,5081 kg/día*hab. Respecto a los residuos de origen animal, se generan 0,5081 y 0,2286 kg/ día*especie de cuy y conejo respectivamente.

Tabla 1-2: PPC de los residuos orgánicos domiciliarios y de los estiércoles

Fecha	Jefe familiar	Media PPC RSD	Media PPC E.cuy	Media PPC E.conejo
15/02/21 al 21/02/21	Jannet León	0,5050	0,1975	0,2397
	Umberto Hidalgo	0,5983	0,2609	0,1621
	Josefina Tingo	0,5552	0,1121	0,2785
	Angélica Asqui	0,3999	0,1048	0,2150
	Arnulfo Carrillo	0,5600	0,2271	0,3036
	Luz María Lalón	0,5051	0,2346	0,2243
	Natalia Chafila	0,4897	0,1192	0,1021
	Victor Chafila	0,5300	0,1071	0,2291
	Rosalía Villafuerte	0,5325	0,1688	0,2576
	Margot Cargua	0,4289	0,1465	0,2716
	Media	0,5105	0,1679	0,2284
22/02/21 al 28/02/21	Jannet León	0,5133	0,1905	0,2435
	Umberto Hidalgo	0,4859	0,2611	0,1700
	Josefina Tingo	0,4579	0,1225	0,2748
	Angélica Asqui	0,4280	0,1068	0,2054
	Arnulfo Carrillo	0,6821	0,2256	0,3071
	Luz María Lalón	0,5666	0,2706	0,1768
	Natalia Chafila	0,4707	0,1089	0,1216
	Victor Chafila	0,5859	0,1067	0,2154
	Rosalía Villafuerte	0,4733	0,1701	0,2563
	Margot Cargua	0,4459	0,1486	0,2771

	Media	0,5109	0,1711	0,2248
01/03/21 al 07/03/21	Jannet León	0,5022	0,1940	0,2434
	Umberto Hidalgo	0,4217	0,2575	0,1616
	Josefina Tingo	0,4716	0,1558	0,2728
	Angélica Asqui	0,4051	0,1100	0,2201
	Arnulfo Carrillo	0,6578	0,2290	0,3144
	Luz María Lalón	0,5636	0,2326	0,2366
	Natalia Chafla	0,4407	0,1114	0,1154
	Victor Chafla	0,4544	0,1075	0,2255
	Rosalía Villafuerte	0,5851	0,1761	0,2651
	Margot Cargua	0,5272	0,1582	0,2718
	Media	0,5029	0,1732	0,2327
	PPC Promedio	0,5081	0,1707	0,2286

Realizado por: Sinche Adriana, 2021.



Figura 2-2: Quema de residuos sólidos

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.2. Muestreo de los residuos para análisis inicial

Una vez recolectado los residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de cuy y conejo se tomó una muestra de cada una mediante la técnica de cuarteo hasta lograr una muestra representativa de 2 kilogramos para su análisis inicial.



Figura 3-2: Toma de muestra de estiércol de cuy y conejo

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 4-2. Muestreo de los residuos orgánicos domiciliarios

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.3.3. Construcción de las pilas de compostaje

Una vez realizado los análisis de COT, Nt, porcentaje de humedad del material a compostar se montaron las pilas de compostaje garantizando que exista una relación C/N adecuada (25-35).

Tabla 2-2: Experimentos en estudio

Sistema	Código	Descripción
Pilas por volteo	P ₁	Residuos orgánicos domiciliarios (650 kg) + estiércol de cuy (250 kg) + aserrín (100 kg)
	P ₂	Residuos orgánicos domiciliarios (650 kg) + estiércol de conejo (250 kg) + aserrín (100 kg)

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Los implementos que se emplearon para la elaboración de las pilas fueron los siguientes:

Materiales

- Rastrillo
- Cuchillos
- Lampas
- Lonas
- Botas
- Mascarillas
- Flexómetro
- Guantes
- Azadones
- Balanza

Técnica

Tomando en cuenta las dos mezclas de residuos a compostar se elaboró las pilas de compostaje con medidas de tres metros de largo por un metro y medio de altura y dos metros de ancho. Se recogió 650 kg de residuos orgánicos domiciliarios (los cuales fueron cortados hasta una dimensión de 5cm), 250 kg de estiércol y 100 kg de aserrín.



Figura 5-2: Cortado de los residuos orgánicos domiciliarios

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

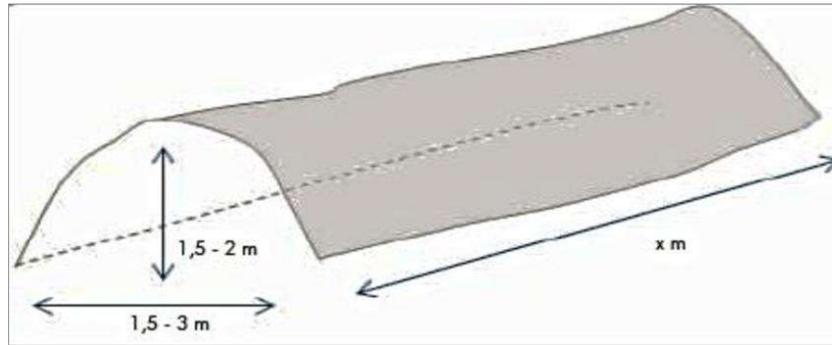


Figura 6-2: Medidas de la pila de compostaje

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Se ubicaron los residuos orgánicos sobre el espacio previamente preparado por estratos de residuos el estiércol correspondiente y aserrín.

1. Se puso como base dos capas de residuos orgánicos domiciliarios.
2. Seguidamente una capa de estiércol envolviendo la capa anterior, una fina capa de aserrín, así hasta el término de la materia prima a emplear, con la finalidad de alcanzar una mezcla homogénea en la pila de compostaje.
3. El proceso de elaboración es igual para las dos pilas construidas.
4. Una vez elaboradas las pilas de compostaje se controló temperatura y humedad del sustrato, temperatura y humedad ambiental diariamente.



Figura 7-2: Elaboración de las pilas de compostaje

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.3.1. Riego de la pila

Una vez elaboradas las pilas se realizó seguidamente el control de la humedad para conservar el material a compostar en una humedad óptima entre 40 y 60%. El riego a lo largo del proceso se efectuó en función del requerimiento de la humedad. En las primeras semanas no fue necesario el riego, la humedad fue suficiente.

Los implementos que se emplearon para humedecer las pilas se detallan a continuación:

Materiales

- Regadera
- Baldes
- Agua de riego

Técnica

1. Se mojó la pila de compostaje en los puntos que se requería de manera homogénea, para garantizar la humedad óptima.



Figura 8-2: Riego en la pila de compostaje

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.3.2. Control del porcentaje de humedad, humedad relativa, de temperatura y temperatura ambiental

Se realizó el control diario de la temperatura, humedad del sustrato y ambiental, los cuales son indicativo de las fases del proceso.

Los instrumentos que se emplearon para el control de temperatura, temperatura ambiental, humedad, humedad relativa se detallan a continuación:

Equipos:

- Termohigrómetro
- Termómetro para sustrato (vástago de 30cm)
- Higrómetro

Técnica

1. Con el termómetro de vástago de 30 cm se midió la temperatura en 4 lados y en el centro de la pila para obtener un promedio.
2. La humedad se controló con un higrómetro en los 4 lados de la pila y en el centro de esta para obtener un promedio.
3. Diariamente se registró y se reportó los datos en una hoja de Excel.



Figura 9-2: Control diario de temperatura y humedad del sustrato y ambiental

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.3.3. Volteo de las pilas

El viraje se efectuó de acuerdo al grado de temperatura máxima que alcanzaba las pila, si llegaba a un rango de 35 y 45 °C se realizaba el volteo con el fin de que exista una mezcla adecuada para una desintegración completa de los residuos. La frecuencia del volteo fue quincenalmente. Los implementos que se emplearon para el volteo de las pilas se detallan a continuación:

Materiales

- Mascarillas
- Guantes
- Palas
- Azadón

Técnica

1. Con un azadón y una pala se viró completamente todo el material, ubicando el material de encima hacía en fondo y viceversa.
2. Una vez realizado el volteo se tomó una muestra representativa de 2 kg para su respectivo análisis de laboratorio.



Figura 10-2: Control diario de temperatura y humedad

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 11-2: Muestreo durante el volteo de la pila

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.3.4. Iniciación de la etapa de maduración

Al término de la fase oxidativa se efectuó un viraje de la pila y se extendió hasta alcanzar 50 cm de altura; seguidamente se llevó a cabo monitoreos diarios de humedad garantizando un porcentaje de humedad entre 40 a 60% durante 2 meses.

2.3.3.5. Obtención de compost

Una vez que transcurrieron 2 meses de la fase de maduración se realizó un volteo a las pilas y se tomó una muestra representativa de cada una de ellas, el cual fue analizado en el laboratorio para

determinar la calidad del compost final mediante la caracterización físico-químico, químico, biológico y microbiológico, lo cual permitirá evaluar su potencial como abono orgánico para su posterior uso como enmendador del suelo.

2.2.4. Determinación de las variables físico-químicas, biológicas de las muestras tomadas a lo largo del proceso

2.2.4.1 Determinación de la humedad

Los implementos que se utilizaron para establecer la humedad se detallan a continuación:

Materiales

- Mascarillas
- Guantes
- Fundas ziploc
- Pinzas para crisoles
- Cápsulas de porcelana

Equipos

- Estufa
- Balanza analítica

Técnica

1. Se pesó de 1-10 g de muestra en cápsula de porcelana una vez que haya sido tarada.
2. Se colocó en la estufa a 105 °C por 24 horas para eliminar toda la humedad.
3. Se retira las cápsulas de la estufa y se las coloca en el desecador por 30 minutos para enfriarlas hasta temperatura ambiente, posteriormente se pesa y se realizan los cálculos correspondientes.
4. El análisis se lo realizó por triplicado.



Figura 12-2: Peso de la muestra Fresca

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Cálculo

$$ss(\%) = \left(\frac{m_2 - m}{m_1 - m} \right) * 100$$

(Ec. 1-2.)

En donde:

SS= sustancia seca en porcentaje en masa.

m = masa de la cápsula en g

m₁= masa de la cápsula con la muestra en g

m₂= masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g.

$$\%HUMEDAD = 100 - \%SS$$

(Ec. 2-2.)

Tratamiento: CRCUYo-1

m= 79,9589

m₁= 90,0031

m₂= 84,0640

$$ss(\%) = \left(\frac{84,0640 - 79,9589}{90,0031 - 79,9589} \right) * 100$$

$$ss = 40,8704$$

$$\%HUMEDAD = 100 - 40,8704 = 59,1296$$

2.2.4.2. Secado y molienda de la muestra

Fue necesario hacer un pre secado al aire libre de las muestras, posteriormente las mismas fueron recolectadas en bandejas (2kg) y trasladadas a la estufa de aire forzado a 75°C por 24 horas, logrando que la muestra este totalmente seca.

Las muestras una vez secas, fueron trituradas en un molino manual, utilizando una cantidad adecuada para lograr una molienda óptima.

Los implementos que se utilizaron para el secado y molienda de la muestra se detallan a continuación:

Materiales

- Bandejas
- Rotulador
- Fundas Ziplock

Equipos

- Estufa
- Molino manual

Técnica

1. Una vez que las muestras estuvieron secas totalmente, estas se trituraron y se molieron en un molino manual.
2. Las muestras trituradas fueron almacenadas en fundas Ziplock, estas fueron rotuladas previamente y se las guarda hasta su estudio en el laboratorio.



Figura 13-2: Secado de las muestras

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 14-2: Molienda de las muestras

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.3. Preparación de las muestras

Los implementos que se utilizaron para preparar las muestras se detallan a continuación:



Figura 15-2: Secado de las muestras a 105°C

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 16-2: Colocación de las muestras en frascos estériles

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.4. Determinación de Carbono total y Nitrógeno total

Esta cuantificación se determinó en el equipo: analizador automático de C y N. Los implementos que se utilizaron para cuantificar C y N se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Cápsulas de estaño
- Papel aluminio
- Pinzas

Equipos

- Micro balanza

Técnica

1. Curva Patrón: Se pesó un total de 5 muestras en intervalo de 0,5 a 2 mg de sulfanamida que actúa como blanco en cápsulas de estaño y se colocó en el porta muestras numerado del equipo analizador.
2. Muestras problema: Las muestras previamente molidas fueron tamizadas y secadas una hora en la estufa, posteriormente se pesó de 0,5 a 1,5 mg por duplicado, y fueron colocadas en el porta muestras numerado del equipo.
3. Finalmente se da marcha al equipo lector de C y N.

Nota: Es necesario anotar los pesos tanto del blanco como de las muestras problema y programar al equipo.



Figura 17-2: Colocación de las muestras en el porta muestras del equipo

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.5. *Determinación del pH*

Los implementos que se utilizaron para medir el pH se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vaso de precipitación
- Pisseta
- Tubos falcon de 50 ml
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Probetas

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador mecánico (Shaker)
- Multiparámetro

Reactivos

- Agua destilada

Técnica

1. Se pesa 4 g de la muestra y se colocó en un tubo con 40 ml de agua destilada.
2. Los tubos se llevan al agitador mecánico por 2 horas, transcurrido el tiempo se retiran y se deja sedimentar.
3. Finalmente se mide el pH en el líquido sobrenadante, este análisis se lo realizó por triplicado.



Figura 18-2: Medición de pH

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Nota: Se debe enjuagar el bulbo medidor de pH y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y es necesario un secado del mismo con toallas absorbentes.

2.2.4.6. Medición de la conductividad eléctrica (CE)

Los implementos que se utilizaron para medir la CE se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vaso de precipitación
- Piseta
- Tubos falcón de 50 ml
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Probetas

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador mecánico (Shaker)
- Multiparámetro
- Centrifuga

Técnica

1. Una vez medido el pH en el sobrenadante, los tubos fueron trasladados a la centrifuga

durante 4 minutos a 1000 rpm.

2. Se retira de la centrifuga y se filtra con papel filtro en tubos falcón y en el extracto filtrado se mide la conductividad eléctrica.

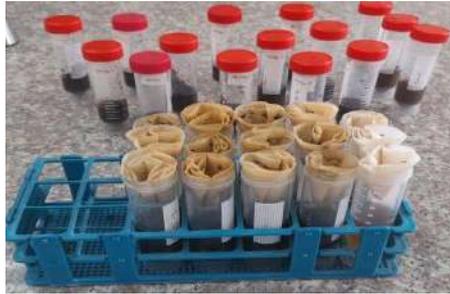


Figura 19-2: Filtrado de las muestras

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 20-2: Medición de la CE

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Nota: Se debe enjuagar el bulbo medidor de CE y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y es necesario un secado del mismo con toallas absorbentes. También establecer las unidades de los datos obtenidos (mili o micro siemens/cm).

2.2.4.7. Determinación del porcentaje MO

Los implementos que se emplearon para establecer el porcentaje MO se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Crisoles de porcelana
- Papel aluminio
- Pinzas para crisoles

Equipos

- Balanza analítica
- Desecador
- Mufla

Técnica

1. Se inicia tarando los crisoles codificados a 105 °C durante 2 horas, transcurrido ese tiempo se trasladan al desecador por 30 minutos hasta que alcance la temperatura ambiente, luego se pesa y se registra el peso del crisol vacío.
2. Una vez tomado el peso de los crisoles vacíos se procede a pesar 3 g de muestra y se registra el peso, luego se los traslada a mufla con la ayuda de pinzas y se los deja por 24 horas por 430 °C.
3. Posteriormente, se los coloca en el desecador por 30 minutos y se pesa los crisoles con la muestra calcinada.

Estos sistemas requieren un alto costo de inversión y mantenimiento, debido a que el proceso de degradación de los residuos orgánicos se ejecuta en un emplazamiento cerrado, es decir, requiere de un equipamiento múltiple. Dentro del sistema existe la posibilidad de registrar parámetros como pH, temperatura, cantidad de gas, tiempo de retención, etc. También cuenta con equipamiento para el tratamiento de gases que se expulsan, favoreciendo la gestión de lixiviados. Son sistemas que alcanzan altos costos en: inversión, personal capacitado y mantenimiento continuo. Puede ser de tipo contenedor, tambor o túnel (Ávila y Moyano, 2019: p.14).

Estos sistemas requieren un alto costo de inversión y mantenimiento, debido a que el proceso de degradación de los residuos orgánicos se ejecuta en un emplazamiento cerrado, es decir, requiere de un equipamiento múltiple. Dentro del sistema existe la posibilidad de registrar parámetros como pH, temperatura, cantidad de gas, tiempo de retención, etc. También cuenta con equipamiento para el tratamiento de gases que se expulsan, favoreciendo la gestión de lixiviados. Son sistemas que alcanzan altos costos en: inversión, personal capacitado y mantenimiento continuo. Puede ser de tipo contenedor, tambor o túnel (Ávila y Moyano, 2019: p.14).

1.2.2. Parámetros del compostaje

Cuando se realiza un proceso de compostaje se debe mantener un control del proceso, por lo tanto, existen parámetros para observar su evolución. Entre los parámetros más importantes se tiene: la humedad, la aireación, el pH, la temperatura, y la relación carbono/nitrógeno.

- *Humedad*

La humedad es una variable muy importante en el proceso de compostaje, debido a que los microorganismos necesitan de agua para realizar sus necesidades fisiológicas, si el porcentaje de humedad es mínimo (30%), la gran cantidad de microorganismos no sobreviven. Por el contrario, altos porcentajes de humedad imposibilita que exista aireación en las pilas de compostaje. El material entra en podredumbre, ocasionando olores pestilentes. El porcentaje de humedad óptimo debe estar en el rango de 50 a 70 %. Esta variable tiene relación con la porosidad y el contenido en el aire en los poros, por tanto, se debe procurar una porosidad adecuada (>20% v/v) (Bortzirietako,2022: p.2).

- *Temperatura*

La temperatura es una variable fundamental del compostaje, debido a que actúa como un indicador de la evolución del proceso, precisamente por la actividad microbiana en la digestión del material orgánico. Al principio la temperatura va desde los 14 a 40 °C (microorganismos mesófilos) y conforme avanza el proceso incrementa. Temperaturas en el rango de 45-55°C (microorganismos termófilos) facilitan la velocidad de degradación, temperaturas superiores a 55°C (microorganismos termófilos) optimizan la sanidad del proceso. Temperaturas por debajo de los 45°C ayudan a la variabilidad microbiana, así como reduce la evaporación de nitrógeno (Castillo, 2019: p.34).

- *Aireación*

Para que el proceso de compostaje se desarrolle adecuadamente, es necesario garantizar una adecuada oxigenación, puesto que si existe un exceso de oxigenación puede traer efectos como el enfriamiento de la masa y disminución de la actividad microbiana. Mientras que una baja aireación puede causar la sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, retardo de la degradación del material orgánico, producción de malos olores, ect. Por lo tanto, el rango óptimo de la concentración de oxígeno oscila entre el 10 al 18% (Camiletti, 2016: p.15).

- *Relación C/N*

La relación C/N es un indicador en el proceso de compostaje, mediante la cual se estima su evolución y calidez, la relación adecuada inicial oscila entre 25:1 a 35:1, lo que se interpreta como 25 a 35 partes de carbono por 1 de nitrógeno. Se recomienda que la relación C/N del material de partida sea adecuada, para utilizar y preservar el contenido carbono y del nitrógeno, si esta oscila entre 35:1 a 40:1, la actividad microbológica disminuye y por ende el proceso también, debido a que los microorganismos oxidan el exceso de C, por la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de microorganismos (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020: p. 42).

- *Tamaño de la partícula*

El tamaño de las partículas tanto de los desechos vegetales y animales, permite una mayor relación superficie/volumen o lo que es lo mismo, mayor actividad microbiana. Una menor dimensión ocasiona una menor porosidad, la reducción de la disposición del oxígeno y el descenso de la oxidación del material a compostar. Normalmente, se aconseja que las dimensiones de las este partículas entre 1 y 5 cm, por ello es necesario, hacer uso de máquinas picadoras o herramientas manuales, como machetes y lograr dichas dimensiones (Bohórquez, 2019: p. 21).

- *pH*

El ph debe ser analizado, debido a que permite evaluar la actividad biológica que actúan en el proceso, como las bacterias y los hongos. El rango adecuado del pH oscila entre 5,5 y 8. Se debe tomar en cuenta que el pH puede bajar durante el proceso, debido a la descomposición de compuestos, pero con la evolución del proceso debe incrementar a 5,5; es decir, al inicio es ácido, después se vuelve básico y finalmente debe alcanzar la neutralidad. Esto dependerá del origen de los materiales y su transformación en cada fase del proceso (Manual de compostaje para zonas frías; 2018: p.42).

1.2.3. Etapas del proceso de compostaje

En el proceso de compostaje existen diferentes etapas las cuales son: Etapa mesófila, etapa termófila, etapa de enfriamiento y etapa de maduración.

- *Etapa mesofílica*

Es el periodo en el que el material a tratar posee alto contenido de materia orgánica. Como efecto de la descomposición, la temperatura se incrementa (10-40 ° C), por tanto, es necesario un adecuado y suficiente suministro de oxígeno en el interior de la pila de compostaje para incrementar la población microbiana. Por lo tanto, se mejora la actividad microbiana y se minimiza la emisión de sustancias pestilentes. Entre los microorganismos con metabolismo oxidativo y fermentativo, con mayores niveles en esta fase son las bacterias gram negativas y productoras de ácido láctico (Agencia de residuos de Catalunya; 2016: p.11).

- *Etapa Termófila*

Es la fase, en la que los microorganismos (mesófilos) que se desarrollan a 45° C, desaparecen y son sustituidos por microorganismos (termófilos) que toleran hasta 100° C, los cuales permiten la degradación de polisacáridos complejos ricos en C (celulosa y la lignina) y la conversión del N en amoníaco, haciendo que el pH incremente. Las altas temperaturas facilitan la higienización de la mezcla, puesto que eliminan todo tipo de contaminante biológico (BBVA, 2021: p. 2).

- *Etapa de enfriamiento*

Esta etapa es conocida como etapa de estabilización, en la cual hay una declinación de la temperatura menor 40°C, a partir de esta los organismos mesófilos reinician su actividad. Las bacterias y los hongos convierten una parte de la celulosa en lignina y lignoproteína, además, aparecen microorganismos e invertebrados y el pH disminuye ligeramente entre 7.0 a 7.5. Esta fase dura varias semanas (Pillco, 2020: p. 28).

- *Etapa de maduración*

Esta etapa inicia cuando el material orgánico está totalmente degradado y la temperatura ha declinado (temperatura de 50 a 20 °C). Al finalizar esta etapa, el material orgánico inicial se ha transformado en un producto altamente humificado, esta etapa dura meses (Arcadis, 2019: p. 14), en los cuales ya no existen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, produciendo un producto final altamente humificado (Castillo, 2019: p.32).

1.2.4. Microorganismos que intervienen en el compostaje

- Bacterias

Son un grupo de microorganismos cuya característica principal es su diversidad metabólica, puesto que emplean un amplio rango de enzimas que degradan químicamente gran cantidad de compuestos orgánicos, dentro del grupo se destacan las *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Actinomiceto streptomyces*. Están presentes en casi todas las fases de compostaje, decrecen en la fase de maduración, representan del 80% al 90% de los organismos en un gramo de compost (Laich, 201: pp.2-3).

- Hongos

Corresponden un grupo muy diversos, los cuales degradan y solubilizan compuestos orgánicos complejos y compuestos inorgánicos, dentro de este grupo se destacan los *Zygomycetes*, *Ureidomycetes*, *Saccharomycetes*, *Basidiomycetes* y *Ascomycetes*. Prevalen en las etapas de enfriamiento y maduración, debido a que los alimentos asimilables terminaron.

- Actinomicetos

Los actinomicetos son bacterias filamentosas semejantes a los hongos, cuyo desarrollo consiste en un micelio ramificado que tiende a fragmentarse en elementos bacterianos. Muchos se encuentran en el suelo, son de vida libre. Se enfatizan por su función en la solubilización de la pared celular de las plantas, hongos e insectos, de ahí su importancia en el proceso de compostaje y en la formación de suelos, debido a que existe una diversidad de especies de actinomicetos, principalmente las que pertenecen al género *Streptomyces*, los cuales son óptimos agentes de control biológico debido a su capacidad para originar compuestos antifúngicos que inhiben el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos, produciendo: enzimas hidrolíticas extracelulares (quitinasas y β -1,3-glucanasa), las cuales están involucradas en la lisis de las paredes celulares de *Fusarium oxysporum* Schltdl., *Sclerotinia minor* Jagger y *Sclerotium rolfsii* Sacc (Tanya y Leiva, 2019: pp. 4-5).

- Microorganismos Fermentadores

Los hongos aportan con los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo; normalmente necesitan bajas cantidades de nitrógeno, lo que permite la desintegración de la materia como la paja y la madera. Los principales representantes de estos microorganismos

pertenecen a las siguientes especies: *Aspergillus oryzae* (por su actividad celulolítica), *Penicillium* sp (óptimos degradadores de lignina y celulosa), *Trichoderma* sp. Este último reconocido por su eficiencia en la desintegración de diferentes cantidades de materia orgánica y en determinadas condiciones pueden ser anaerobios facultativos, tienen una alta capacidad enzimática lo que les permite degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos (Tanya y Leiva, 2019: pp. 4-5).

1.2.4. Parámetros de evaluación de la calidad del compost obtenido

- **Macronutrientes**

El resultado de estas variables es primordial para valorar la calidad del compost. Destacándose el sodio, carbono, nitrógeno y fósforo; los cuales al agregarlos al suelo podrán ser consumidos por las plantas. Por lo tanto, el compost sólido debe ser abundante en estos macronutrientes debido a que son imprescindibles para el suelo (Chimbo, 2018: p. 41).

- **Metales pesados**

El compost obtenido a partir de desechos vegetales o animales no supera el contenido de metales pesados, es decir, no implica mayores riesgos de contaminación versus compost obtenidos a partir de lodos. De acuerdo con esto es necesario su determinación tanto del material a compostar como del producto final, con la finalidad de evaluar el contenido de los mismos mediante el control de la información más reciente en la legislación específica (Fernández, 2018: p. 25).

- **Índice de germinación**

Método desarrollado por Franco Zucchini, también conocido como técnica de Zucchini. Este método es empleado para establecer el índice de solidez del compost y los probables parámetros fototóxicos que pudiesen contener (Fernández, 2018: p. 42). El procedimiento radica en exhibir semillas, específicamente semillas como la lechuga, a un extracto de compost y colacionar el porcentaje de germinación y el porcentaje de extensión de las raíces con un blanco que es realizado con agua destilada (Fain et al., 2018: p.2).

1.3. Régimen legislativo para la gestión de residuos sólidos

En el Ecuador existe un marco jurídico sobre los residuos sólidos, el cual consta de un conjunto de leyes, normas y reglamentos, que incluye la Constitución Política del Estado, Acuerdos

ministeriales, ordenanzas, entre otros.

Tabla 3-1: Marco legal

CUERPO LEGAL	REGISTRO OFICIAL	ARTÍCULO
Constitución de la República del Ecuador.	R.O. No 449, 2008/10/20	14; 15; 72; 73; 264 numeral 4; 413; 414; 415
Ley Orgánica de Salud	Ley No. 64, R.O.S. 423, 2006/12/22	97; 98; 99; 100; 103; 104; 107; 259
Ley de Prevención y control de la Contaminación Ambiental	R.O. Suplemento 418, 2004/09/10	8; 11; 13; 14; 15; 2 literal a
Ley de Régimen Municipal		14 numeral 3a; 148 literal g;
COOTAD	R.O. 2010/10/15	55 literal d; 136; 137; 418 literal e; 431
Código Orgánico Ambiental	R.O. Suplemento 983 de 12-abr.-2017	228; 229; 230; 231; 234
RCOA		561; 562; 565; 573; 574; 576; 587; 593; 595; 597; 598; 599; 603; 604; 606; 609; 611; 805
Acuerdo Ministerial 061	R.O. Edición especial No.316,2015/05/04.	2; 47; 48; 49 literal a, b, e, f, i y j; 51; 52 literal b, c, f, g, h, i, k, l, m, t, u; 54 literal a, b, c, d; 55; 56; 57 literal a, b, c, d, e, f, h, i, j, k, l; 58; 59; 60 literal b, d, e, f, g, h; 61; 62; 63 literal a, b, c; 66 literal a, b, c, d, e; 67 literal a, d; 68; 73 literal a, c, d, e, f; 74; 75
Acuerdo Ministerial 026	R.O. Suplemento 334,2008/05/12	1; 2
Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas	R. O. No. 249-2008	149; 150; 151
Ordenanza GADM-Riobamba, sobre la	R.O. No. 009-2019	Del 4 al 48

gestión integral de residuos sólidos.		
------------------------------------------	--	--

Fuente: (Rivadeneira, 2018c: p.53).

Realizado por: Sinche Adriana, 2022

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se realizó en:

- El barrio “La Libertad” de la Parroquia San Luis

Las determinaciones analíticas se realizaron en el:

- Laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- Laboratorio de Ambiente de la Universidad Nacional de Chimborazo.

2.1. Diseño Práctico

2.1.1. Modelo de estudio

Para el estudio experimental se realizaron dos pilas de compostaje con estiércoles de especies menores (cuy y conejo respectivamente), con el objeto de comparar la calidad del compost producido, de acuerdo al estiércol aplicado.

2.1.2. Unidad de análisis

Se refiere al fraccionamiento representativo de los residuos orgánicos domiciliarios procedentes de la cabecera parroquial “San Luis”. La unidad experimental de la investigación estuvo conformada por aproximadamente 1000 kg por cada tratamiento realizado.

2.1.3. Población de estudio

Residuos sólidos orgánicos domiciliarios y ganaderos generados de la cabecera parroquial San Luis, Cantón Riobamba.

2.1.4. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra no se calcula, puesto que se analizan todas las muestras tomadas a lo largo del proceso, teniendo en cuenta tanto los materiales iniciales, como los tomados durante el proceso y del producto final.

2.1.5. Selección de la muestra

El procedimiento utilizado para la recolección de las muestras tanto iniciales, como durante y al final del compostaje, se utilizó el método del cuarteo (NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985), recolectando 7 fracciones de distintos lugares de cada unidad experimental, para al termino recolectar una sola muestra de 1 kg para su correspondiente análisis.

2.2. Metodología

2.2.1. Lugar de estudio

Ubicación

La parroquia San Luis está localizada al Oeste del Cantón Riobamba, cuya altitud es 2662 msnm

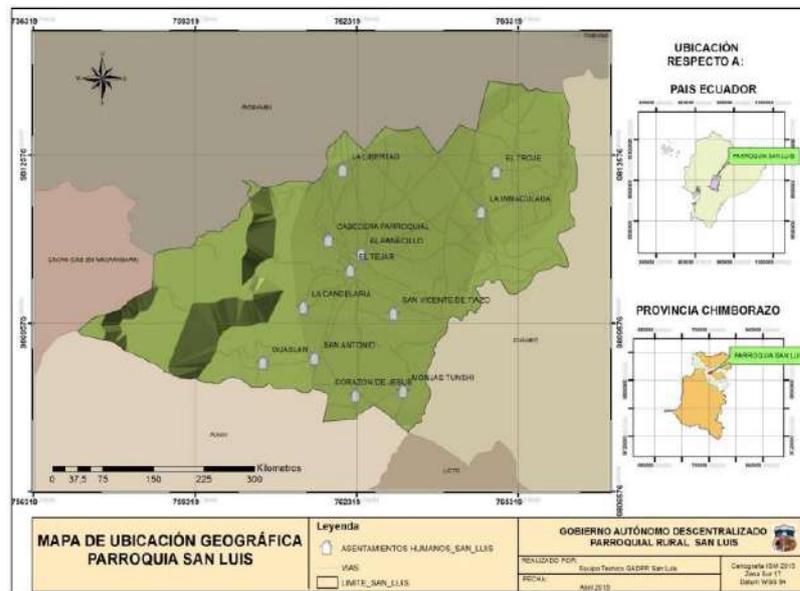


Figura 21-2: Mapa de ubicación geográfica parroquia San Luis

Fuente: PDOTP, 2015.

2.2.2. Determinación de la producción PPC

El levantamiento de información de la presente investigación se determinó a través del pesaje de la cantidad de residuos orgánicos y estiércoles de especies menores (cuyes y conejos) generados en los domicilios de la cabecera parroquial San Luis, cuyo fin fue tomar los datos de los residuos producidos, para establecer la Producción Per Cápita de los mismos.

Debido a que la cabecera parroquial San Luis cuenta con una población pequeña se ejecutó el pesaje de los residuos en 10 hogares, 5 pertenecían al centro de la cabecera parroquial, 3 al sector el panecillo y 2 al sector la Libertad. Para esto se visitó los hogares en un mismo horario durante tres semanas.

2.2.1.1. Análisis y organización de datos

A partir de la información tomada durante 3 semanas consecutivas sobre la cantidad de residuos que se generan diariamente en la cabecera parroquial “San Luis” se determinó que cada habitante, produce en promedio aproximadamente 0,5081 kg/día*hab. Respecto a los residuos de origen animal, se generan 0,5081 y 0,2286 kg/ día*especie de cuy y conejo respectivamente.

Tabla 3-2: PPC de los residuos orgánicos domiciliarios y de los estiércoles

Fecha	Jefe familiar	Media PPC RSD	Media PPC E.cuy	Media PPC E.conejo
15/02/21 al 21/02/21	Jannet León	0,5050	0,1975	0,2397
	Umberto Hidalgo	0,5983	0,2609	0,1621
	Josefina Tingo	0,5552	0,1121	0,2785
	Angélica Asqui	0,3999	0,1048	0,2150
	Arnulfo Carrillo	0,5600	0,2271	0,3036
	Luz María Lalón	0,5051	0,2346	0,2243
	Natalia Chafra	0,4897	0,1192	0,1021
	Victor Chafra	0,5300	0,1071	0,2291
	Rosalía Villafuerte	0,5325	0,1688	0,2576
	Margot Cargua	0,4289	0,1465	0,2716
	Media	0,5105	0,1679	0,2284
22/02/21 al 28/02/21	Jannet León	0,5133	0,1905	0,2435
	Umberto Hidalgo	0,4859	0,2611	0,1700
	Josefina Tingo	0,4579	0,1225	0,2748
	Angélica Asqui	0,4280	0,1068	0,2054
	Arnulfo Carrillo	0,6821	0,2256	0,3071
	Luz María Lalón	0,5666	0,2706	0,1768
	Natalia Chafra	0,4707	0,1089	0,1216
	Victor Chafra	0,5859	0,1067	0,2154
	Rosalía Villafuerte	0,4733	0,1701	0,2563
	Margot Cargua	0,4459	0,1486	0,2771

	Media	0,5109	0,1711	0,2248
01/03/21 al 07/03/21	Jannet León	0,5022	0,1940	0,2434
	Umberto Hidalgo	0,4217	0,2575	0,1616
	Josefina Tingo	0,4716	0,1558	0,2728
	Angélica Asqui	0,4051	0,1100	0,2201
	Arnulfo Carrillo	0,6578	0,2290	0,3144
	Luz María Lalón	0,5636	0,2326	0,2366
	Natalia Chafla	0,4407	0,1114	0,1154
	Victor Chafla	0,4544	0,1075	0,2255
	Rosalía Villafuerte	0,5851	0,1761	0,2651
	Margot Cargua	0,5272	0,1582	0,2718
	Media	0,5029	0,1732	0,2327
	PPC Promedio	0,5081	0,1707	0,2286

Realizado por: Sinche, Adriana, 2021.



Figura 22-2: Quema de residuos sólidos

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.2. Muestreo de los residuos para análisis inicial

Una vez recolectado los residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de cuy y conejo se tomó una muestra de cada una mediante la técnica de cuarteo hasta lograr una muestra representativa de 2 kilogramos para su análisis inicial.



Figura 23-2: Toma de muestra de estiércol de cuy y conejo

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 24-2. Muestreo de los residuos orgánicos domiciliarios

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.3.3. Construcción de las pilas de compostaje

Una vez realizado los análisis de COT, Nt, porcentaje de humedad del material a compostar se montaron las pilas de compostaje garantizando que exista una relación C/N adecuada (25-35).

Tabla 4-2: Experimentos en estudio

Sistema	Código	Descripción
Pilas por volteo	P ₁	Residuos orgánicos domiciliarios (650 kg) +estiércol de cuy (250 kg) + aserrín (100 kg)
	P ₂	Residuos orgánicos domiciliarios (650 kg) +estiércol de conejo (250 kg) + aserrín (100 kg)

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022

Los implementos que se emplearon para la elaboración de las pilas fueron los siguientes:

Materiales

- Rastrillo
- Cuchillos
- Lampas
- Lonas
- Botas
- Mascarillas
- Flexómetro
- Guantes
- Azadones
- Balanza

Técnica

Tomando en cuenta las dos mezclas de residuos a compostar se elaboró las pilas de compostaje con medidas de tres metros de largo por un metro y medio de altura y dos metros de ancho. Se recogió 650 kg de residuos orgánicos domiciliarios (los cuales fueron cortados hasta una dimensión de 5cm), 250 kg de estiércol y 100 kg de aserrín.



Figura 25-2: Cortado de los residuos orgánicos domiciliarios

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

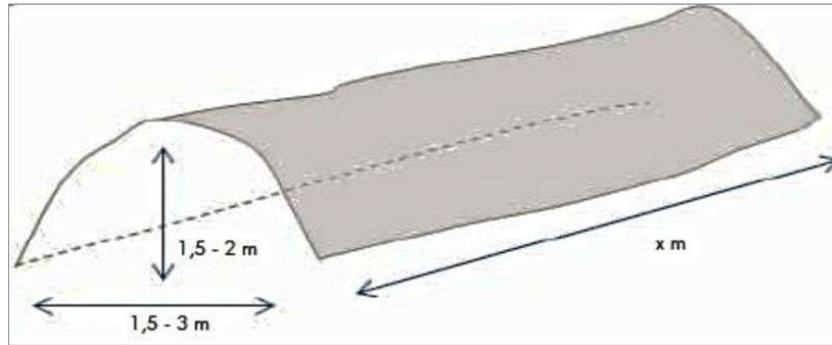


Figura 26-2: Medidas de la pila de compostaje

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Se ubicaron los residuos orgánicos sobre el espacio previamente preparado por estratos de residuos el estiércol correspondiente y aserrín.

1. Se puso como base dos capas de residuos orgánicos domiciliarios.
2. Seguidamente una capa de estiércol envolviendo la capa anterior, una fina capa de aserrín, así hasta el término de la materia prima a emplear, con la finalidad de alcanzar una mezcla homogénea en la pila de compostaje.
3. El proceso de elaboración es igual para las dos pilas construidas.
4. Una vez elaboradas las pilas de compostaje se controló temperatura y humedad del sustrato, temperatura y humedad ambiental diariamente.



Figura 27-2: Elaboración de las pilas de compostaje

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.3.1. Riego de la pila

Una vez elaboradas las pilas se realizó seguidamente el control de la humedad para conservar el material a compostar en una humedad óptima entre 40 y 60%. El riego a lo largo del proceso se efectuó en función del requerimiento de la humedad. En las primeras semanas no fue necesario el riego, la humedad fue suficiente.

Los implementos que se emplearon para humedecer las pilas se detallan a continuación:

Materiales

- Regadera
- Baldes
- Agua de riego

Técnica

- Se mojó la pila de compostaje en los puntos que se requería de manera homogénea, para garantizar la humedad óptima.



Figura 28-2: Riego en la pila de compostaje

Fuente: Sinche Adriana, 2022.

2.2.3.2. Control del porcentaje de humedad, humedad relativa, de temperatura y temperatura ambiental

Se realizó el control diario de la temperatura, humedad del sustrato y ambiental, los cuales son indicativo de las fases del proceso.

Los instrumentos que se emplearon para el control de temperatura, temperatura ambiental, humedad, humedad relativa se detallan a continuación:

Equipos:

- Termohigrómetro
- Termómetro para sustrato (vástago de 30cm)
- Higrómetro

Técnica

1. Con el termómetro de vástago de 30 cm se midió la temperatura en 4 lados y en el centro de la pila para obtener un promedio.
2. La humedad se controló con un higrómetro en los 4 lados de la pila y en el centro de esta para obtener un promedio.
3. Diariamente se registró y se reportó los datos en una hoja de Excel.



Figura 29-2: Control diario de temperatura y humedad del sustrato y ambiental

Fuente: Sinche Adriana, 2022.

2.2.3.3. Volteo de las pilas

El viraje se efectuó de acuerdo al grado de temperatura máxima que alcanzaba las pila, si llegaba a un rango de 35 y 45 °C se realizaba el volteo con el fin de que exista una mezcla adecuada para una desintegración completa de los residuos. La frecuencia del volteo fue quincenalmente.

Los implementos que se emplearon para el volteo de las pilas se detallan a continuación:

Materiales

- Mascarillas
- Guantes
- Palas

- Azadón

Técnica

1. Con un azadón y una pala se viró completamente todo el material, ubicando el material de encima hacía en fondo y viceversa.
2. Una vez realizado el volteo se tomó una muestra representativa de 2 kg para su respectivo análisis de laboratorio.



Figura 30-2: Control diario de temperatura y humedad

Fuente: Sinche Adriana, 2022.



Figura 31-2: Muestreo durante el volteo de la pila

Fuente: Sinche Adriana, 2022.

2.2.3.4. *Iniciación de la etapa de maduración*

Al término de la fase oxidativa se efectuó un viraje de la pila y se extendió hasta alcanzar 50 cm de altura; seguidamente se llevó a cabo monitoreos diarios de humedad garantizando un porcentaje de humedad entre 40 a 60% durante 2 meses.

2.3.3.5. Obtención de compost

Una vez que transcurrieron 2 meses de la fase de maduración se realizó un volteo a las pilas y se tomó una muestra representativa de cada una de ellas, el cual fue analizado en el laboratorio para determinar la calidad del compost final mediante la caracterización físico-químico, químico, biológico y microbiológico, lo cual permitirá evaluar su potencial como abono orgánico para su posterior uso como enmendador del suelo.

2.2.4. Determinación de las variables físico-químicas, biológicas de las muestras tomadas a lo largo del proceso.

2.2.4.1 Determinación de la humedad

Los implementos que se utilizaron para establecer la humedad se detallan a continuación:

Materiales

- Mascarillas
- Guantes
- Fundas ziploc
- Pinzas para crisoles
- Cápsulas de porcelana

Equipos

- Estufa
- Balanza analítica

Técnica

1. Se pesó de 1-10 g de muestra en cápsula de porcelana una vez que haya sido tarada.
2. Se colocó en la estufa a 105 °C por 24 horas para eliminar toda la humedad.
3. Se retira las cápsulas de la estufa y se las coloca en el desecador por 30 minutos para enfriarlas hasta temperatura ambiente, posteriormente se pesa y se realizan los cálculos correspondientes.
4. El análisis se lo realizó por triplicado.



Figura 32-2: Peso de la muestra Fresca

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Cálculo

$$ss(\%) = \left(\frac{m2 - m}{m1 - m} \right) * 100$$

(Ec. 1-2.)

En donde:

SS= sustancia seca en porcentaje en masa.

m = masa de la cápsula en g

m₁= masa de la cápsula con la muestra en g

m₂= masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g.

$$\%HUMEDAD = 100 - \%SS$$

(Ec. 2-2.)

Tratamiento: CRCUYo-1

m= 79,9589

m₁= 90,0031

m₂= 84,0640

$$ss(\%) = \left(\frac{84,0640 - 79,9589}{90,0031 - 79,9589} \right) * 100$$

$$ss = 40,8704$$

$$\%HUMEDAD = 100 - 40,8704 = 59,1296$$

2.2.4.2. Secado y molienda de la muestra

Fue necesario hacer un pre secado al aire libre de las muestras, posteriormente las mismas fueron recolectadas en bandejas (2kg) y trasladadas a la estufa de aire forzado a 75°C por 24 horas, logrando que la muestra este totalmente seca.

Las muestras una vez secas, fueron trituradas en un molino manual, utilizando una cantidad adecuada para lograr una molienda óptima.

Los implementos que se utilizaron para el secado y molienda de la muestra se detallan a continuación:

Materiales

- Bandejas
- Rotulador
- Fundas Ziplock

Equipos

- Estufa
- Molino manual

Técnica

1. Una vez que la muestras estuvieron secas totalmente, estas se trituraron y se molieron en un molino manual.
2. Las muestras trituradas fueron almacenadas en fundas Ziplock, estas fueron rotuladas previamente y se las guarda hasta su estudio en el laboratorio.



Figura 33-2: Secado de las muestras

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 34-2: Molienda de las muestras

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.3. Preparación de las muestras

Los implementos que se utilizaron para preparar las muestras se detallan a continuación:



Figura 35-2: Secado de las muestras a 105°C

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 36-2: Colocación de las muestras en frascos estériles

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.4. *Determinación de Carbono total y Nitrógeno total*

Esta cuantificación se determinó en el equipo: analizador automático de C y N. Los implementos que se utilizaron para cuantificar C y N se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Cápsulas de estaño
- Papel aluminio
- Pinzas

Equipos

- Micro balanza

Técnica

1. Curva Patrón: Se pesó un total de 5 muestras en intervalo de 0,5 a 2 mg de sulfanamida que actúa como blanco en cápsulas de estaño y se colocó en el porta muestras numerado del equipo analizador.
2. Muestras problema: Las muestras previamente molidas fueron tamizadas y secadas una hora en la estufa, posteriormente se pesó de 0,5 a 1,5 mg por duplicado, y fueron colocadas en el porta muestras numerado del equipo.
3. Finalmente se da marcha al equipo lector de C y N.

Nota: Es necesario anotar los pesos tanto del blanco como de las muestras problema y programar al equipo.



Figura 37-2: Colocación de las muestras en el porta muestras del equipo

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.5. *Determinación del pH*

Los implementos que se utilizaron para medir el pH se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vaso de precipitación
- Píseta
- Tubos falcon de 50 ml
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Probetas

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador mecánico (Shaker)
- Multiparámetro

Reactivos

- Agua destilada

Técnica

1. Se pesa 4 g de la muestra y se colocó en un tubo con 40 ml de agua destilada.
2. Los tubos se llevan al agitador mecánico por 2 horas, transcurrido el tiempo se retiran y se deja sedimentar.
3. Finalmente se mide el pH en el líquido sobrenadante, este análisis se lo realizó por triplicado.



Figura 38-2: Medición de pH

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Nota: Se debe enjuagar el bulbo medidor de pH y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y es necesario un secado del mismo con toallas absorbentes.

2.2.4.6. Medición de la conductividad eléctrica (CE)

Los implementos que se utilizaron para medir la CE se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vaso de precipitación
- Piseta
- Tubos falcón de 50 ml
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Probetas

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador mecánico (Shaker)
- Multiparámetro
- Centrifuga

Técnica

1. Una vez medido el pH en el sobrenadante, los tubos fueron trasladados a la centrifuga

durante 4 minutos a 1000 rpm.

2. Se retira de la centrifuga y se filtra con papel filtro en tubos falcón y en el extracto filtrado se mide la conductividad eléctrica.

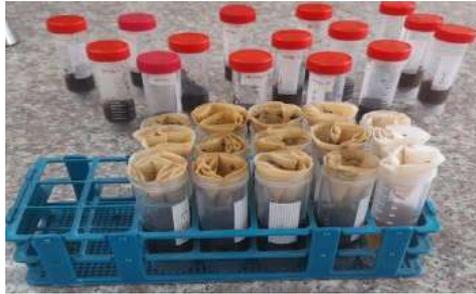


Figura 39-2: Filtrado de las muestras

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 40-2: Medición de la CE

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Nota: Se debe enjuagar el bulbo medidor de CE y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y es necesario un secado del mismo con toallas absorbentes. También establecer las unidades de los datos obtenidos (mili o micro siemens/cm).

2.2.4.7. Determinación del porcentaje MO

Los implementos que se emplearon para establecer el porcentaje MO se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Crisoles de porcelana
- Papel aluminio
- Pinzas para crisoles

Equipos

- Balanza analítica
- Desecador
- Mufla

Técnica

1. Se inicia tarando los crisoles codificados a 105 °C durante 2 horas, transcurrido ese tiempo se trasladan al desecador por 30 minutos hasta que alcance la temperatura ambiente, luego se pesa y se registra el peso del crisol vacío.
2. Una vez tomado el peso de los crisoles vacíos se procede a pesar 3 g de muestra y se registra el peso, luego se los traslada a mufla con la ayuda de pinzas y se los deja por 24 horas por 430 °C.
3. Posteriormente, se los coloca en el desecador por 30 minutos y se pesa los crisoles con la muestra calcinada.



Figura 41-2. Peso de la muestra en el crisol

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 42-2: Traslado de los crisoles a la mufla

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.



Figura 43-2: Peso de la muestra calcinada

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Cálculo

$$MO(\%) = \left\{ \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \right\} * 100$$

(Ec. 3-2)

Dónde:

m_1 =peso crisol vacío +muestra seca

m_2 =peso crisol con muestra calcinada

m =peso crisol vacío

MO (%) = Porcentaje de materia orgánica

Tratamiento: CRCUYo-1

$m = 83,2872$

$m_1 = 86,4082$

$m_2 = 84,4715$

$$MO(\%) = \left\{ \frac{(86,4082 - 83,2872)}{84,4715 - 83,2872} \right\} * 100$$

$$MO(\%) = 62,05$$

2.2.4.8. Medición de Aniones

Para la medición de SO_4^{2-} ; PO_4^{3-} ; NO_3^- y Cl^- se partió pesando 2 g de muestra, se ubica en un tubo falcón y se añade 40 mL de agua desionizada (relación 1:20). Luego se traslada al agitador mecánico por dos horas, posteriormente se centrifuga por 5 minutos a 1000 rpm y se filtra.

Con el extracto obtenido se realiza una dilución 1:100 o 0,5:50, en este caso se realizó en balones de aforo de 50 ml. Para la medición de SO_4^{2-} ; PO_4^{3-} ; NO_3^- y Cl^- se emplea el espectrofotómetro

visible HACH DR 2800. A partir de esta disolución se realizan los análisis que se detallan a continuación:

A. Cloruros

Los implementos que se utilizaron para establecer la presencia de cloruros se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vasos de precipitación
- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 50 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Equipos

- Balanza analítica

Reactivos

- Dicromato de Potasio
- Nitrato de Plata

Técnica

1. Para la medición de Cl^- se empleó la técnica argentométrico de Mohr, mediante la cual se midió el contenido de cloruros en el blanco. De la dilución 0,5:50 se tomó 25 ml con la ayuda de una pipeta volumétrica y agrega en un Erlenmeyer.
2. Se adicionó 6 gotas de K_2CrO_4 (indicador) en la disolución y se titula con AgNO_3 hasta el cambio a color amarillo a rojo ladrillo. Es necesario preparar un blanco, al cual se le

adiciona el indicador y se titula al igual que las muestras.



Figura 44-2: Medición de Cloruros

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Cálculo

Paso 1.

$$\frac{mgCl^{-}}{L} = \left\{ \frac{(A - B) * N * 35,45}{(ml\ muestra)} \right\} * 1000$$

(Ec. 4-2)

Dónde:

N= normalidad de $AgNO_3$

A= mL de estimación para la muestra

B= mL de estimación para el blanco

Paso 2.

$$\frac{mgCl^{-}}{Kg} = \frac{X * FD * V(L)}{P(g)} * \frac{1000g}{1kg}$$

(Ec. 5-2)

Dónde:

X= Resultado del paso 1

FD= Factor de dilución

P= peso de la muestra

V= volumen ocupado

Tratamientos: CRCUYo-1

Paso 1.

A= 3,1 ml

B= 2 ml

N= $0,01 \frac{eq}{L}$

$$mgCl^{-}/L = \left\{ \frac{(3,1 - 2)ml * 0,01 \frac{eq}{L} * 35,45 \frac{mg}{eq}}{(1mL)} \right\}$$
$$\frac{mgCl^{-}}{L} = 0,38995$$

Paso 2.

$$\frac{mgCl^{-}}{Kg} = \frac{0,38995 \text{ mg}}{L} * 100 * \frac{40 \text{ L}}{2,0001g} = 779,86 \text{ mg/kg}$$

B. Nitratos

Los implementos que se utilizaron para establecer la presencia de nitratos se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vasos de precipitación
- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 50 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta
- Tubos viales

Equipos

- Balanza analítica

Reactivos

- NitraVer en polvo

Técnica

1. En el espectrofotómetro visible HACH DR 2800, se utilizó el test 355 N Nitrato RA PP, para la determinar el blanco, resultando un valor de 0,00 mg/L NO₃⁻. Se toma 10 ml de la dilución madre y se coloca en los tubos viales, se agrega el reactivo NitraVer en polvo.
2. Se agita por 1 minuto las muestras (toman un color ámbar por el contenido de nitratos) y se dejó gravitar por 5 minutos. Luego, se colocó en la cubeta la muestra preparada del tubo, se limpió y se seleccionó en el equipo “medición” y se generó el resultado en mg/L NO₃⁻.

Cálculo

$$\frac{mgCl^{-}}{Kg} = \frac{X * FD * V(L)}{P(g)} * \frac{1000g}{1kg}$$

(Ec. 6-2)

Dónde:

X= Resultado de absorbancia

FD= Factor de dilución

P= peso de la muestra

V= volumen ocupado

Tratamientos: CRCUYo-1

X= Resultado de absorbancia

FD= Factor de dilución

P= peso de la muestra

V= volumen ocupado

$$\frac{mgNO3^{-}}{Kg} = \frac{3,3 \frac{mg}{L} * 100 * 0,04L}{2,0005 g} * \frac{1000g}{1kg}$$

$$\frac{mgNO3^{-}}{Kg} = 6598,35$$

C. Fosfatos

Los implementos que se utilizaron para establecer la presencia de fosfatos se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vasos de precipitación
- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 50 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta
- Tubos viales

Equipos

- Balanza analítica

Reactivos

- PhosVer en polvo

Técnica

1. Para la medición de fósforo en el espectrofotómetro visible HACH se seleccionó la prueba 490 Preact.; seguidamente, se determinó el blanco, para ello se llenó 10 mL con agua destilada en una cubeta, se limpió las gotas en su exterior, se ubicó en el soporte portacubetas, y finalmente se seleccionó en el equipo “cero”, dando un resultado de 0,00 mg/L PO₄³⁻.
2. Para las muestras, se efectuó una nueva dilución 1:10 de la dilución inicial, posteriormente se agrega el reactivo PhosVer en polvo, se aplica un movimiento (agitación) por un 1 minuto, transcurrido este tiempo la solución tomó una coloración azul por el contenido de fosfatos.
3. Se llena la cubeta con la muestra elaborada, se retira las gotas agua del exterior de la cubeta y se ingresa en el soporte, seguidamente, se selecciona en el equipo “medición” y los valores resultantes fueron en unidades de mg/L PO₄³⁻.

Cálculo

$$\frac{mg}{kg} PO_4^{3-} = \frac{X * FD * V(L)}{P(g)} * \frac{1000g}{1kg}$$

(Ec. 7-2)

Dónde:

X= Resultado de absorbancia

FD= Factor de dilución

P=peso de la muestra

V= volumen ocupado

Tratamientos: CRCUYo-1

X= Resultado de absorbancia

FD= Factor de dilución

P=peso de la muestra

V= volumen ocupado

$$\frac{mgPO_4^3}{Kg} = \frac{0,89 \frac{mg}{L} * 100 * 0,04L}{2,0005 g} * \frac{1000g}{1kg}$$

$$\frac{mgPO_4^3}{Kg} = 889,78$$

D. Sulfatos

Los implementos que se utilizaron para establecer la presencia de sulfatos se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Vasos de precipitación
- Rotulador
- Pipetas volumétricas
- Balones de aforación de 50 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta
- Tubos viales

Equipos

- Balanza analítica

Reactivos

- PhosVer en polvo

Técnica

1. Al igual que los anteriores se trabajó en el mismo equipo y se utilizó la prueba 685 Sulfato AV, a continuación, se determinó el blanco resultando valores en unidades de 0,00 mg/L SO₄²⁻.
2. Se agrega 10 ml en la cubeta de vidrio, se adicionó el reactivo SulfaVer en polvo, se agitó y se verificó la presencia de sulfatos por la turbidez formada (se dejó en reposo por 5 minutos). Seguidamente se ubicó en el equipo y se seleccionó en la pantalla “medición” y el resultado arrojó en mg/L SO₄²⁻.

Cálculo

$$\frac{mg}{kg} \text{SO}_4^{2-} = \frac{X * FD * V(L)}{P(g)} * \frac{1000g}{1kg}$$

(Ec. 8-2)

Dónde:

X= resultado del espectrofotómetro en mg/l

FD= Factor de dilución

P=peso de la muestra

V= volumen ocupado

Tratamientos: CRCUYo-1

X= Resultado de absorbancia

FD= Factor de dilución

P=peso de la muestra

V= volumen ocupado

$$\frac{mg\text{SO}_4^3}{Kg} = \frac{13 \frac{mg}{L} * 100 * 0,04L}{2,0005 g} * \frac{1000g}{1kg}$$

$$\frac{mg\text{SO}_4^3}{Kg} = 12996,75$$



Figura 45-2: Determinación de aniones

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.9. Establecimiento del índice de germinación

Los implementos que se utilizaron para establecer el índice de germinación se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Tubos falcón
- Semillas de berro
- Filtros de nitrocelulosa 0,45 micras
- Pipeta
- Micropipeta
- Papel filtro
- Embudo buchner
- Recipientes estériles de 50ml
- Rotulador
- Pinzas
- Cajas Petri
- Kitazato
- Papel aluminio

Equipos

- Balanza analítica
- Incubadora
- Pie de rey

- Agitador- Shaker
- Centrifuga

Reactivos

- Agua destilada
- Etanol al 50%

Técnica

1. Se peso 3 g de muestra y se realiza una dilución de estas en proporción 1:15, es decir primero se humedecieron las mismas agregando 1,5 ml agua destilada por g de muestra hasta lograr un 60% de humedad, (se dejó gravitar por 30 minutos). Posteriormente se añadió 13,5 ml de agua desionizada por g de muestra hasta llega al 10% de dilución.
2. Los extractos realizados fueron agitados en el Shaker por 30 minutos y luego fueron centrifugados a 4000 rpm por 10 minutos.
3. Una vez centrifugados, los extractos fueron filtrados previamente con papel filtro y posteriormente con filtros de nitrocelulosa de 0,45 um en embudos buchner, con el fin de esterilizar las soluciones.
4. De cada solución filtrada se colocó 2 ml sobre 10 cajas Petri de 10 cm de diámetro, las cuales fueron previamente codificadas, cubiertas de papel de filtro en su base, y con 8 semillas de berro. Además, se elaboró un blanco con agua destilada, es decir colocó 2 ml de agua destilada en 10 cajas Petri.
5. Las cajas fueron colocadas una sobre otra, envueltas con papel aluminio (para que permanezcan en oscuridad), y se incubaron a 27.5 °C por 48 horas.
6. Posteriormente, se tomaron las plantas, se ubicaron en una hoja de papel, se cuantifico el número de semillas germinadas y se determinó el tamaño de las raíces de cada una de las cajas, con la ayuda de un calibrador (pie de rey).
7. Finalmente se reportaron los datos en una hoja de Excel, luego se realizaron los cálculos respectivos para determinar el índice de germinación, el cual se obtuvo del producto entre el grado de germinación (G) y el grado de elongación de las raíces (L), de acuerdo con el blanco realizado agua destilada, y dividir para cien.

Cálculo

$$IG (\%) = \frac{\%G * \%L}{100}$$

(Ec. 9-2)

Dónde:

IG (%) = Porcentaje del índice de germinación

%G= Porcentaje de Germinación

%L=Porcentaje de crecimiento de las raíces

Tratamientos: CRCUYo-1

%G=78,2051

%L=33,5697

$$IG (%) = \frac{78,2051 * 33,5697}{100} = 0,26.25\%$$



Figura 46-2: Medida de las raíces germinadas

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.10. Establecimiento de polifenoles hidrosolubles

Los implementos empleados para establecer la presencia de polifenoles hidrosolubles en las muestras se detallan a continuación:

Materiales

- Pipeta
- Gradillas
- Guantes
- Balón de aforación (50ml)
- Tubos falcón

Equipos

- Balanza analítica
- Centrifuga
- Agitador mecánico
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Ácido gálico
- Folin-Ciocalteu de fenoles (R.A)
- Carbonato sódico 20%

Técnica

1. Se tomo 2 g de muestra, se agregó 40 mL de agua desionizada y se removió por 2 horas. Seguidamente, los tubos se ingresan a la centrifuga por 5 minutos (a3000 rpm), posterior a ello se filtró y se tomó 0,25 mL y se colocó en un balón de aforo de 50 ml.
2. Curva patrón: Se tomó 1 g de ácido gálico y se aforó en un matraz con 1 L de agua destilada (disolución de 1000 ppm). De esta última se tomó 6 mL y se llevó a 100 mL (disolución de 60 ppm). Posteriormente en matraces aforados de 50 mL se tomó: 0, 1, 2, 3, 4, y 5 mL de la disolución con 60 ppm de ácido gálico y se adiciono 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu. Se mezclo por 3 minutos, luego se agregó 5 mL de carbonato sódico al 20 %, posteriormente se revolvió de nuevo y se aforo con agua destilada, finalmente se obtuvo: 0,2; 0,4; 0,8; 1; 1,5 ppm de ácido gálico.
3. Medición de presencia de fenoles: Se tomó 0,25 mL de las muestras problema, se siguió el mismo procedimiento anterior y se aforó con agua destilada a 50 ml, se agitó y se dejó reposar 1 hora en un lugar oscuro. Trascurrido el tiempo se procede a determinar la presencia de polifenoles mediante la absorbancia a una longitud de onda de 725 nm en un espectrofotómetro, estableciendo el contenido de este parámetro en relación a la curva de calibración. $\text{Conc} = \text{Abs} * \text{pendiente curva}$.

$$\frac{mg}{kg} = \frac{X * fd * V}{p}$$

(Ec. 10-2)

Dónde:

X=Resultado del equipo en mg/l

fd=factor de dilución

V=volumen

p= peso de la muestra

Tratamientos: CRCUYo-1

X=0,3

fd=100

V=40

p= 2,0003

$$\frac{mg}{kg} = \frac{(0,296 \frac{mg}{l} * 100 * 40ml)}{2,0003g} * \frac{1000g}{1kg} * \frac{1L}{1000ml} = 591,91$$



Figura 47-2: Establecimiento de presencia de polifenoles

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

2.2.4.11. Establecimiento metales pesados

Los implementos que se utilizaron para establecer la presencia metales pesados se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Frascos estériles
- Micropipeta
- Balones de aforación de 50ml
- Papel filtro de celulosa de 0,45 um
- Erlenmeyer
- Piseta
- Frascos estériles

Equipos

- Balanza analítica
- Sorbona

Reactivos

- Ácido nítrico 1:1
- Peróxido de hidrógeno al 30%
- Ácido clorhídrico 1:1

Técnica

1. Se secó la muestra previamente durante 24 horas a 105 °C. Trascurrido el tiempo se pesó 2 g de la muestra seca (presión 2, 0000) directamente en los Erlenmeyer y se coloca 5 ml de HNO_3
2. Se lavó las paredes del Erlenmeyer con la ayuda de una piseta y agua destilada, hasta incrementar el volumen y las paredes estén lavadas.
3. Se colocó los Erlenmeyer en los reverberos y fueron tapados con los vidrios reloj. Se dejó pasar 15 minutos para colocar 5 ml De HNO_3 .
4. Después del tiempo transcurrido los Erlenmeyer fueron calentados nuevamente durante 30 minutos, luego fueron bajados de los reverberos, se dejó enfriar y se colocó 5ml gota por gota de peróxido de hidrogeno (agua oxigenada al 30%), procurando lavar totalmente las paredes.
5. Conforme se fueron digestando las muestras se fue colocando agua destilada de acuerdo a la reducción del volumen.
6. Trascurrido las 3 horas de digestión se colocó 2 ml de HCl en los Erlenmeyer y se dejó en los reverberos hasta que termine el proceso de digestión (4 horas).
7. Terminada la digestión se dejó enfriar en su totalidad a los Erlenmeyer, luego se filtró mediante el papel de celulosa de 0,45 μm en matraces de 100 ml. Finalmente de afuera y se coloca en frascos especiales para un adecuado almacenamiento, hasta su posterior análisis.

Nota 1: Si las muestras alcanzan un porcentaje de materia orgánica mayor a 50, es necesario adicionar 5ml de agua oxigenada en vez de 3ml. En las muestras de cuy y conejo se colocó en dos tiempos el peróxido de hidrógeno debido al porcentaje de materia orgánica presente.



Figura 48-2: Colocación de H₂O₂ en el proceso de digestión

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

Nota 2: Elaborar curvas patrón y preparación de muestras para lectura respectiva.

Materiales

- Pipetas Automáticas
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Nítrico (HNO₃)
- Estándar de Cadmio

Técnica

Se realizó una solución de HNO₃ al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 5-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Cd

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observaciones
	Primera concentración (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración que alcanzo (ppm)	Volumen enrasado (ml)	
Stock	1000	0.2	2	100	Se enraso cada estándar con Agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se utilizó
1	2	0.5	0.02	50	
2	2	1	0.04	50	
3	2	1.5	0.06	50	
4	2	2.5	0.1	50	

5	2	5	0.2	50	Agua Ultrapura (Tipo I)
---	---	---	-----	----	----------------------------

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Cálculo

$$C = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1000g}{1kg}}$$

(Ec. 11-2)

Dónde:

C= Concentración a obtener del Analito en mg/kg

C_{Equipo}= Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD= Factor de Dilución

V_m= Volumen al que se afora luego de la digestión

P_m= Peso de la Muestra en gramos (g)

Nota. Esta ecuación se utiliza para el cálculo de todos los metales pesados

Tratamientos: CRCUYo-1

C_{Equipo}= 0,0016

FD= Muestra no diluida

V_m= 100 ml

P_m=2,0004

$$C_{Cd} \frac{mg}{kg} = \frac{(0,0016 \frac{mg}{l}) * 100ml \frac{1l}{1000ml}}{2,0004g * \frac{1000g}{1kg}} = 0,08$$

- Plomo (Pb)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión)
- Balones aforados.

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Nítrico (HNO₃)
- Estándar de Plomo

Técnica

Se elaboró una solución de HNO₃ al 1%, el volumen requerido para enrasar los estándares

Tabla 6-2: Concentraciones para elaboración de estándares para la determinación de Pb

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observaciones
	Primera concentración (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración que alcanzo (ppm)	Volumen enrasado (ml)	
Stock	1000	3	30	100	Se enraso cada estándar con Agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se utilizó Agua Ultrapura (Tipo I)
1	30	0.5	0.3	50	
2	30	1	0.6	50	
3	30	1.5	0.9	50	
4	30	2.5	1.5	50	
5	30	5	3	50	

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

Tratamiento: CRCUYo-1

$C_{\text{Equipo}} = 0,0039$

FD= Muestra no diluida

$V_m = 100 \text{ ml}$

$P_m = 2,0004$

$$C_{Pb} \frac{mg}{kg} = \frac{(0,0039 \frac{mg}{l}) * 100ml \frac{1l}{1000ml}}{2,0004g * \frac{1000g}{1kg}} = 0,19$$

- Mercurio (Hg)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄)
- Estándar de Mercurio

Técnica

Previo a la determinación de Hg se realizó las siguientes soluciones:

1. Solución 1: disolución al 10% de HCl
2. Solución 2: disolución al 0.5% de NaOH+ Solución de al 0.6% NaBH₄

Tabla 7-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Hg

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Primera concentración (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración que alcanzo (ppm)	Volumen enrasado (ml)	Concentración resultante en (ppb o µg/l)	Se enraso cada estándar con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se utilizó Agua
Stock	1000	0.1	1	100		
1	1	0.25	0.005	50	5	
2	1	0.5	0.01	50	10	
3	1	1	0.02	50	20	
4	1	1.5	0.03	50	30	
5	1	2	0.04	50	40	

						Ultrapura (Tipo I)
--	--	--	--	--	--	-----------------------

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

Tratamiento: CRCUY₀₋₁

C_{Equipo} = 0,001

FD = Muestra no diluida

V_m = 100 ml

Pm = 2,0004

$$C_{Hg} \frac{mg}{kg} = \frac{(0,001 \frac{mg}{l}) * 100ml \frac{1l}{1000ml}}{2,0004g * \frac{1000g}{1kg}} = 0,05$$

- Arsénico (As)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄)
- Estándar de Arsénico

Técnica

1. Se elaboró la Solución Reductora necesaria para la determinación As, la cual estaba integrada por: una disolución al 10% de Yoduro de Potasio (KI) m/v + una disolución al 10% de Ácido Ascórbico (C₆H₈O₆) m/v
2. Se tomo 16 ml de cada muestra y se agregó 2 ml de la solución Reductora, posteriormente se agregó 2 ml de Ácido Clorhídrico concentrado.

3. Para la producción de Hidruros se empleó: Solución al 0.5% de Hidróxido de Sodio (NaOH) + Solución de al 0.6% Borohidruro de Sodio (NaBH₄).
4. Por 2 horas aproximadamente para que se produzca la reacción de reducción se lo dejo en reposo y posteriormente se midió en el Equipo de Absorción Atómica.

Nota: Se siguió el mismo procedimiento tanto para los estándares como para las muestras.

Tabla 8-2: Concentraciones de estándares para la determinación de As

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Primera concentración (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración que alcanzo (ppm)	Volumen enrasado (ml)	Concentración resultante en (ppb o µg/l)	Nota: se utilizó Agua Ultrapura (Tipo I)
Stock	1000	0.1	1	100		
1	1	0.25	0.005	50	5	
2	1	0.5	0.01	50	10	
3	1	1	0.02	50	20	
4	1	2	0.04	50	40	
5	1	2.5	0.05	50	50	

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

Tratamiento: CRCUY₀₋₁

C_{Equipo} = 0,0021

FD = Muestra no diluida

V_m = 100 ml

P_m = 2,0004

$$C_{As} \frac{mg}{kg} = \frac{(0,0021 \frac{mg}{l}) * 100ml \frac{1l}{1000ml}}{2,0004g * \frac{1000g}{1kg}} = 0,11$$

- Selenio (Se)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Ácido Clorhídrico (HCl al 10%)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄)
- Estándar de Arsénico

Técnica

1. Previo a la determinación de la concentración de Selenio se elaboró una solución, para lo cual se necesitó 5 ml de muestra y se las agregó 5 ml de Ácido Clorhídrico en cada muestra.
2. Luego, fue necesario el calentamiento de la solución durante 30 minutos (baño maría a 90 °).
3. Se leyó en el Equipo de Absorción Atómica empleando lo siguiente: Solución 1: Solución al 10% HCl; solución 2: disolución al 0.5% de NaOH + Solución al 0.6% NaBH₄

Tabla 9-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Se

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación
	Primera concentración (ppm)	Valor a tomar de la primera concentración (ml)	Concentración que alcanzo (ppm)	Volumen enrasado (ml)	Se enraso cada estándar con Agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se utilizó Agua Ultrapura (Tipo I)
Stock	1000	1	10	100	
1	10	1	0.2	50	
2	10	2	0.4	50	
3	10	3	0.6	50	
4	10	4	0.8	50	
5	10	5	1	50	

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

Tratamiento: CRCUY₀₋₁

C_{Equipo} = 0,0018

FD= Muestra no diluida

V_m= 100 ml

P_m=2,0004

$$C_{As} \frac{mg}{kg} = \frac{(0,0018 \frac{mg}{l}) * 100ml \frac{1l}{1000ml}}{2,0004g * \frac{1000g}{1kg}} = 0,09$$

2.3.4.12. Extracción de Macronutrientes

Los implementos que se utilizaron para establecer la presencia de macronutrientes (Na, K) se detallan a continuación:

Materiales

- Cucharilla
- Tubos falcón
- Micropipeta
- Papel filtro de celulosa de 0,45 um
- Piseta
- Frascos estériles
- Embudos

Reactivos

- HCl 1M
- H₂SO₄ 5M

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador mecánico

Técnica

1. Extracción de Macronutrientes

Se preparo acetato de amonio 1N (de acuerdo con la cantidad de muestras), posteriormente de pesa 2,0000 gramos de la muestra previamente seca directamente en los tubos falcón, estos fueron

llevados al agitador por 20 minutos a 300 rpm, transcurrido el tiempo, el extracto fue filtrado y almacenado en los frascos estériles para su posterior análisis.



Figura 49-2. Extracción de Macronutrientes

Fuente: Sinche, Adriana, 2022.

- Determinación de Sodio (Na)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Estándar de Sodio

Técnica

Se preparó una solución de HNO_3 al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares

Tabla 10-2: Concentraciones de estándares para la determinación de Na

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación
	Primera concentración	Valor a tomar de la primera	Concentración que alcanzo	Volumen enrasado	Se enraso cada estándar con

	(ppm)	concentración (ml)	(ppm)	(ml)	Agua Acidulada al 1% de HNO_3 Nota: se utilizó Agua Ultrapura (Tipo I)
Stock	1000	1	10	100	
1	10	1	0.2	50	
2	10	2	0.4	50	
3	10	3	0.6	50	
4	10	4	0.8	50	
5	10	5	1	50	

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

- Determinación de Potasio (K)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Estándar de Potasio

Técnica

Se elaboró una solución de HNO_3 al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares y las muestras.

Tabla 11-2: Concentraciones para elaboración de estándares para la determinación de K.

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración Inicial (ppm)	Valor tomado de la primera concentración (ml)	Concentración a la que se llevó (ppm)	Volumen Aforado (ml)	Concentración Obtenida en (ppb o $\mu\text{g/l}$)	Nota: se utilizó Agua Ultra pura
Stock	1000	0.1	1	100		
1	1	0.5	0.01	50	10	
2	1	1,5	0.02	50	20	

3	1	2	0.03	50	30	(Tipo I)
4	1	2,5	0.04	50	40	
5	1	2.5	0.05	50	50	

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Fuente: Laboratorio de Impactos Ambientales

- Extracción de Fósforo (P)

Técnica

1. Para la extracción de P se elaboró dos disoluciones (A y B):
 - Para la solución A se adicionó 6g de molibdato de amonio en 20 ml de agua desionizada, conjuntamente con 0,1455g de tartrato de antimonio y potasio y se disolvió. Después se agregó 70 mL de H_2SO_4 concentrado, posteriormente dejó enfriar y se diluyó con agua hasta 100 mL.
 - Para la solución B se agregó 13,2g de ácido ascórbico en agua y se enraso a de 100 ml.
2. Ambas soluciones se las puso a enfriar y a partir de esta solución madre, se tomó 17,5 ml de la solución A, se adicionó 400 ml de agua desionizada, se agitó y finalmente se agregó 5mL de la solución B y se enraso a 500 ml.
3. Se elaboro la curva patrón, inicialmente con una solución estándar con KPO_4H_2 de 1000 ppm de P en 500mL y luego se realizó un patrón de 20 ppm de P aforado a 50 mL, a partir de esta solución, se obtuvo los patrones de concentraciones: 0,1; 0,4; 0,8; 1,2 y 2 ppm; se tomó 5mL de cada uno y se adicionó 5 mL de la solución madre, se homogenizo y durante 20 minutos se lo dejo reposar.
4. Transcurrido este tiempo, se procedió a la lectura en el equipo para la elaboración de la curva de calibración. Para la lectura de las muestras previamente digestadas se tomó 5 ml de cada una y se adicionó 5 mL de la solución madre, transcurrido el tiempo de reacción se midió en unidades de mg/L.

Nota: La solución madre debe ser preparada diariamente.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ubicación del experimento

El trabajo de investigación fue realizado en la cabecera parroquial San Luis ubicada al Oeste del cantón Riobamba, cuya altitud es de 2662 msnm, cuyas coordenadas son 1° 42' 19" de latitud Sur y 78° 38' 39" de longitud Occidental, específicamente en el sector la Libertad, puesto que fue ahí donde se montó el experimento (pilas de compostaje) en el cual se trató los residuos orgánicos domiciliarios generados por los moradores de la cabecera parroquial junto con estiércoles de especies menores, obteniendo finalmente abono orgánico (compost).

Los parámetros físicos, químicos y biológicos para la caracterización de los residuos y para el análisis de las muestras obtenidas durante el proceso de compostaje fueron obtenidos mayoritariamente en el Laboratorio de Impactos Ambientales, y también en el Laboratorio de Investigación, Química Instrumental, Calidad de Agua pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.2. Lugar de Muestreo

El lugar de muestreo de los residuos fue la cabecera parroquial "SAN LUIS", puesto que tanto los residuos orgánicos como el estiércol de cuy y conejo fueron tomados de los domicilios de la cabecera parroquial.

3.2.1. Caracterización de los residuos a compostar

Tabla 1-3: Análisis físico químico y biológico de los materiales iniciales

	RSD	E.CUY	E.CNJ	ASER
H (%)	84,15	68,73	63,74	19,11
pH	5,29	9,81	8,72	4,83
CE (dSm-1)	4,87	7,30	3,96	0,004
MO (%)	88,38	68,73	85,19	97,08
Corg (%)	40,76	34,78	47,52	55,04
Nt (%)	1,95	1,67	1,83	0,13
Corg/Nt	20,91	20,89	26,04	429,60

Polifenoles (mg/Kg)	2,95	2,54	0,05	0,49
P (g Kg⁻¹)	0,57	1,10	0,69	0,34
Na (g Kg⁻¹)	3,10	0,51	2,01	0,89
K (g Kg⁻¹)	102,09	318,65	64,28	86,86
Cl (mg kg)	850,74	779,76	4999,38	212,66
SO₄²⁻ (mg kg)	16496,73	14498,93	9498,83	999,88
NO₃⁻ (mg kg)	8898,23	3399,75	496,23	2799,44
PO₄³⁻ (mg kg)	289,94	109,99	94,99	179,98
As (mg kg)	82,75	145,03	45,73	16,81
Se (mg kg)	44,73	5,14	41,39	21,19
Cd (mg kg)	0,02	0,01	0,02	0,01
Hg (mg kg)	0,08	0,06	0,03	0,06
Pb (mg kg)	0,01	1,01	0,39	0,01
IG (%)	0,25	11,29	21,66	91,16

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

RSD: Residuos Sólidos Domiciliarios, **E.CUY:** Estiércol de cuy, **E.CNJ:** Estiércol de conejo, **ASER:** Aserrín, **H (%)**: Humedad; **MO:** Materia orgánica, **CE:** conductividad eléctrica, **pH:** Potencial de hidrógeno, **Corg(%)**: Carbono orgánico, **NT(%)**:Nitrógeno total, **Corg/NT:** Relación Carbono-Nitrógeno, **P:** fósforo, **Na:** Sodio, **K** :Potasio, **As:** Arsénico, **Se:** Selenio, **Cd:** Cadmio, **Hg:** Mercurio; **Pb:** Plomo, **Cl:** Cloruros, **SO₄²⁻:**Sulfatos, **NO₃⁻:**Nitratos, **PO₄³⁻:**Fósforo, **IG (%)**: Índice de Germinación.

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

En la tabla 1-3 se detallan los resultados del material inicial empleados para la realización de las pilas de compostaje, en la cual se puede verificar que los datos promedios de pH fueron semejantes para los estiércoles de cuy y conejo (9,81 y 8,72), los residuos orgánicos y el aserrín (5,29 y 4,83), siendo estos últimos los más ácidos y los estiércoles resultaron tener pH altamente básicos, datos corroborados en otras investigaciones (Guamán, 2010: p. 36). Mientras que los datos promedio de CE fueron diversos en todos los casos, resultando alto el de estiércol de cuy, (EC = 7,30 dS/m), por lo tanto, se recomienda restringir su empleo directo como abono del suelo en cultivos intolerantes a la salinización, así como menciona (Gallart, 2017: p. 11).

La relación C/N para los residuos orgánicos domiciliarios, estiércoles de especies menores y aserrín es diverso, a causa del contenido de Corg de cada residuo, presentando valores de altos a bajos como se describe a continuación: Aserrín>estiércol de conejo > residuos orgánicos >estiércol de cuy. En todos los casos la relación C/N se encuentra dentro del límite permisible C/N<35, valores establecidos por la FAO (Román et al., 2013: p. 2013) tanto para los residuos orgánicos como para los estiércoles. El aserrín al cumplir la función de estructurante y suministrador de C suplementario para la actividad microbiana, posee un valor de C/N adecuado >100 según valores reportados por otros investigadores (Hang et al., 2015: pp. 2-3).

Los datos promedios de MO y Corg resultaron ser diversos, los residuos orgánicos, el estiércol de conejo y el aserrín resultaron con mayor contenido de estas variables. En todos los residuos, el porcentaje de MO resultó mayor a los criterios de fin de residuo para residuos biodegradables sometidos a tratamiento biológico (compost y digestión) propuesta por las directrices europeas y de EE. UU porcentaje normalizado a un contenido de materia orgánica del 30% (European Commission, 2001). Así también sobrepasa el rango establecido por (US Composting Council, 2001), el mismo que corresponde a 50- 60%.

En los estiércoles de especies menores la concentración de los macronutrientes descendió de la siguiente forma; para el estiércol de cuy fue $K > N_t > P > Na$, para el estiércol de conejo y residuos orgánicos fue $K > Na > N_t > P$ y para el aserrín $K > Na > P > N_t$. De acuerdo con lo analizado se pudo detectar que todos los materiales a compostar presentaron altas cantidades de potasio, resultados semejantes a los obtenidos en otras investigaciones (Basantes, 2018: p. 109). De estos los que presentaron mayores contenidos de N_t fueron los residuos orgánicos, el estiércol de cuy y conejo tuvieron resultados semejantes. De los 4 materiales, el estiércol de cuy resultó con una concentración alta en P, dato que es válido próximo al promedio (Barreros, 2017: p. 70). Hubo una concentración mayoritaria de Na en los residuos orgánicos, esto posiblemente a la salinidad de los suelos. De acuerdo con lo indicado los estiércoles tuvieron mayores contenidos de macronutrientes respecto a los residuos orgánicos, además de que el aserrín presentó bajas concentraciones de estos, puesto que su composición es de tipo ligno-celulósico (Gavilanes, 2016: p. 158).

Respecto al contenido de aniones tanto los estiércoles de cuy y conejo y los residuos orgánicos presentaron el siguiente orden en concentración $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > PO_4^{3-}$, sin embargo, los residuos orgánicos resultaron con mayor concentración de SO_4^{2-} y NO_3^- , presentando el mayor contenido de aniones. Valores semejantes a los obtenidos en la investigación realizada por (Gavilanes, 2016: p. 159). La concentración de metales pesados en todos los casos es relativamente nula, por lo tanto, está por debajo del límite permisible para compost según la (Comisión Europea, 2001).

Por otro lado, en el análisis del índice de germinación se evidenció que el aserrín tuvo un resultado superior (GI >50%) a los demás residuos, dato reportado por (Montufar, 2021: p. 14), en su investigación “Evaluación de diferentes sustratos comerciales sobre la viabilidad de semillas de cebolla (*allium cepa l.*)” ; los valores siguientes fueron los estiércoles: conejo y cuy y finalmente los residuos orgánicos, de estos últimos se reportaron datos bajos de GI al límite para descartar fitotoxicidad (GI = 0-8%), posiblemente porque los residuos presentaron altos contenidos de polifenoles, resultados semejantes por otros investigadores (Gavilanes, 2016: p. 110).

3.2.2. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje

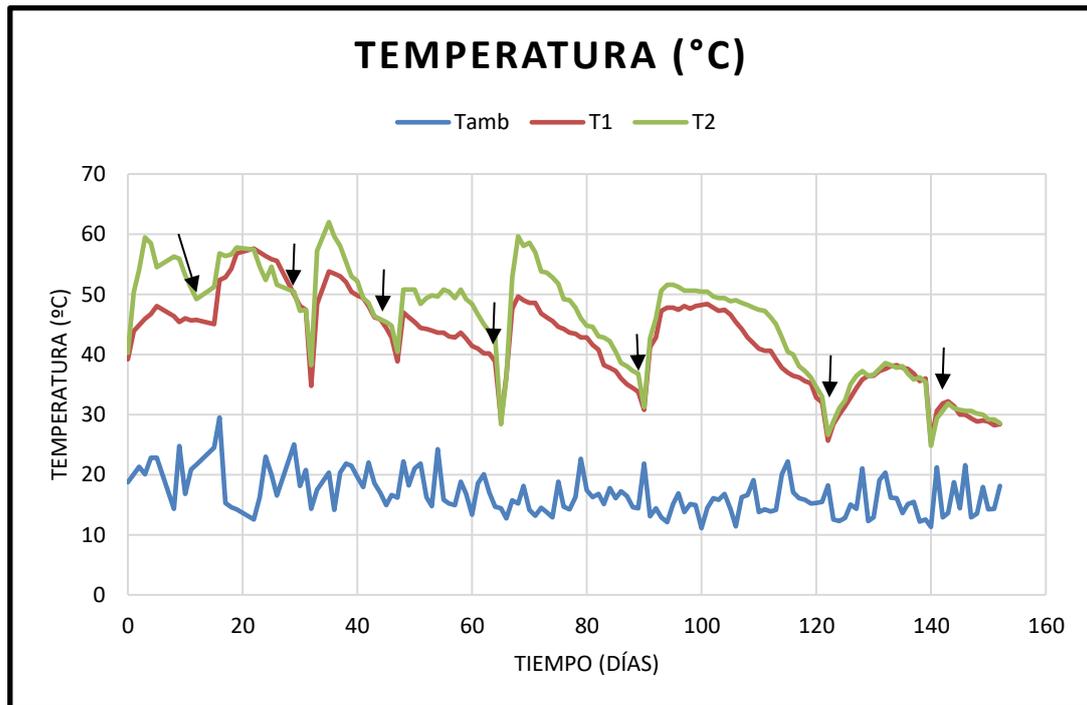


Gráfico 1-3: Variación de la temperatura en la pila 1-T1 y pila 2-T2

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

La tendencia de la temperatura se cuantificó empleando un equipo portátil con sonda, en los cuatro extremos de la pila y en el centro de esta a 30 cm de profundidad, esta fue tomada diariamente y los datos reflejados en el gráfico son la media de los 5 registros. En el gráfico 1-3 se puede evidenciar que a partir de los primeros días se incrementó la temperatura a causa de la actividad microbiológica, llegando a temperaturas superiores a los 45 °C, trayendo consigo una acción benéfica: la eliminación de agentes patógenos. Esta fase inicial se denomina termófila, la cual dura 15 días hasta el primer volteo realizado, este aumento acelerado de temperatura al inicio del proceso de compostaje también ha sido evidenciado en el Manual de producción de compost (Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres, 2018: p.7).

Comparando las pilas, cabe destacar la pila 2 compuesta por residuos sólidos domiciliarios + estiércol de conejo + aserrín, la cual alcanzó mayores temperaturas antes del volteo 1, hasta 59 °C, posiblemente por tener mayor cantidad de microorganismos que impulsaron a la actividad microbiológica. La temperatura de las pilas pasados los 112 días de proceso fue decreciendo paulatinamente hasta entrar en la etapa mesófila y se fueron enfriando hasta entrar en fase de maduración. Reportes semejantes fueron obtenidos en otras investigaciones en el proceso de compostaje de residuos orgánicos (Cordova, 2016: p. 75).

3.2.2. Caracterización de las muestras tomadas durante el proceso de compostaje

Tabla 2-3: Análisis físico químico de las muestras tomadas durante el proceso

Días de compostaje	MO (%)	pH	CE (dS/m)	N (%)	C/N
Pila 1: Residuos sólidos domiciliarios + Estiércol de cuy + Aserrín					
0	62,93 ±1,06	8,94 ± 0,04	5,10 ± 0,03	0,97 ± 0,03	33,59 ± 0,20
15	60,16 ±0,30	9,73 ± 0,04	4,93 ± 0,10	1,11 ± 0,01	27,89 ± 0,36
32	57,71 ±0,42	9,72 ± 0,03	4,09 ± 0,04	1,13 ± 0,06	24,91 ± 0,54
47	56,59 ±0,19	9,86 ± 0,03	4,65 ± 0,15	1,16 ± 0,01	22,36 ± 0,36
65	55,57 ±0,34	9,94 ± 0,02	4,28 ± 0,12	1,18 ± 0,01	20,61 ± 0,21
90	51,02 ±1,59	9,89 ± 0,04	3,05 ± 0,01	1,20 ± 0,01	18,86 ± 0,39
122	44,57 ±0,63	9,49 ± 0,01	5,54 ± 0,13	1,22 ± 0,01	17,20 ± 0,23
140	41,36 ±0,07	9,5 ± 0,14	4,92 ± 0,04	1,24 ± 0,03	16,48 ± 0,24
162	39,95 ±1,11	9,40 ± 0,01	6,49 ± 0,29	1,26 ± 0,01	14,58 ± 0,58
221	39,69 ±0,78	7,63 ± 0,06	4,66 ± 0,06	1,31 ± 0,04	13,04 ± 0,17
ANOVA-F	375***	492***	156***	23***	11***
DMS	1,35	0,09	0,21	0,06	1,11
Pila 2: Residuos sólidos domiciliarios + Estiércol de conejo + Aserrín					
Días de compostaje	MO (%)	pH	CE (dS/m)	N (%)	C/N
0	64,59 ± 1,83	8,70 ± 0,05	4,50 ± 0,10	1,02 0± 0,01	32,53 ± 0,46
15	59,37 ± 3,75	9,77 ± 0,02	4,56 ± 0,21	1,19 ± 0,06	27,40 ± 1,92
32	54,24 ± 2,07	9,69 ± 0,04	4,53 ± 0,09	1,23 ± 0,03	25,17 ± 0,62
47	51,30 ± 1,07	10,00 ± 0,02	4,93 ± 0,20	1,28 ± 0,04	23,69 ± 0,17
65	46,15 ±0,97	10,17 ± 0,07	5,08 ± 0,17	1,30 ± 0,04	21,70± 1,33
90	45,04 ± 0,74	10,12± 0,02	2,81 ± 0,13	1,32 ± 0,06	19,26±0,83
122	43,41 ± 0,58	9,63 ± 0,02	3,26 ± 0,1	1,35 0± ,001	18,01 ± 0,15
140	42,17± 0,31	9,42 ± 0,05	6,20± 0,04	1,38 ± 0,06	16,82 ± 0,67
162	41,3 ± 1,17	9,50 ± 0,07	6,53 ± 0,30	1,41 ± 0,03	15,71 ± 0,31
221	40,7 ± 0,60	8,06 ± 0,06	4,63 ± 0,18	1,46 ± 0,03	14,26 ± 0,45
ANOVA-F	77***	610***	140***	20***	NS
DMS	2,77	0,08	0,28	0,09	2,02

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

MO: Materia orgánica, CE: conductividad eléctrica, pH: Potencial de hidrógeno, %Corg: Carbono orgánico, Nt:Nitrógeno total, Corg/Nt: Relación Carbono-Nitrógeno.

*** Diferencia significativa con un 99,9 % de confiabilidad.

En ambas pilas, los valores de pH aumentaron durante los primeros 90 días de compostaje, a causa de la degradación de los compuestos ácidos y del nitrógeno orgánico llevada a cabo por los microorganismos (Idrovo y col., 2018: p. 4) para posteriormente disminuir. En consecuencia, la CE incrementa a lo largo del proceso de compostaje debido a la digestión de la materia orgánica, suceso que eleva el contenido de nutrientes de la MO o decrece debido a los riegos para promocionar una adecuada humedad de las pilas (Sepúlveda et al., 2012: p. 5), en este caso los valores de CE fueron relativamente variables, 5,10 a 4,66 y 4,5 a 4,63 para la pila 1 y 2 respectivamente, datos semejantes fueron mostrados en otras investigaciones (Bohórquez, 2014: p. 4).

En ambas pilas hubo un decrecimiento relativamente significativo del porcentaje MO, disminuyó desde 62,93 a 39,69 y 64,60 a 40,70 respectivamente. La pérdida de la materia orgánica fue mayor durante el periodo bio-oxidativo a causa de las altas temperaturas, que permitieron la digestión del material orgánico, mientras que en el periodo de maduración se observó un ínfimo descenso, lo que denota la estabilidad a lo largo del proceso, resultados semejantes fueron reportados por (Basantes, 2018: p. 114) para el compostaje de estiércol de cuy con vegetales.

En ambas pilas, la concentración de Corg descendió a lo largo del proceso, mientras que el Nt incremento sustancialmente conforme avanzaba el proceso de compostaje, desde datos iniciales 0,97 y 1,02% hasta datos finales 1,31 y 1,47% para la pila 1 y 2 respectivamente (Monsalve et al., 2017: p.4), a causa de la evaporación del agua y la disminución de masa seca específicamente en el periodo bio-oxidativa (Gavilanes, 2016, p.130). Por consiguiente, la relación Corg/NT, descendió progresivamente en ambas pilas de 33,59 a 13,04 y de 32,53 a 14,26 respectivamente, lo que demuestra que los compost generados están completamente estables y maduros, según la norma de calidad de Compost (2000).

Tabla 3-3: Análisis químico e índice de germinación durante el proceso

Días de compostaje	Polifenoles (g/kg)	IG (%)
Pila 1: Residuos sólidos domiciliarios + Estiércol de cuy + Aserrín		
0	0,59 ± 0,01	33,06 ± 2,94
15	1,17 ± 0,01	45,03 ± 4,12
32	0,13 ± 0,00	48,29 ± 4,32
47	0,30 ± 0,01	65,24 ± 3,94
65	0,47 ± 0,00	36,18 ± 2,05
90	0,25 ± 0,00	64,55 ± 4,37
122	0,25 ± 0,00	60,84 ± 3,62
140	0,23 ± 0,00	63,06 ± 4,85
162	0,21 ± 0,00	78,86 ± 2,86
221	0,00 ± 0,00	85,61 ± 4,45
ANOVA-F	7163***	40***
DMS	0,01	8,56

Pila 2: Residuos sólidos domiciliarios + Estiércol de conejo + Aserrín		
Días de compostaje	Polifenoles (g/kg)	IG
0	1,01 ± 0,00	35,13 ± 3,05
15	0,49 ± 0,00	44,02 ± 4,30
32	0,42 ± 0,00	40,77 ± 3,53
47	0,34 ± 0,00	48,17 ± 1,78
65	0,35 ± 0,00	51,55 ± 1,28
90	0,26 ± 0,00	37,32 ± 2,90
122	0,26 ± 0,00	60,85 ± 3,86
140	0,19 ± 0,00	62,93 ± 1,31
162	0,21 ± 0,00	74,51 ± 3,82
221	0,00 ± 0,00	82,28 ± 3,05
ANOVA-F	7121***	54***
DMS		0,01 6,83

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

IG: Índice de germinación

*** Diferencia significativa con un 99,9 % de confiabilidad.

El estiércol de conejo tuvo el mayor contenido de polifenoles solubles en agua en relación con el estiércol de cuy, diferentes estudios de compostaje han comparado la fitotoxicidad con polifenoles hidrosolubles (Albuquerque et al., 2006), citado en (Basantes, 2018: p. 115); (Idrovo y col., 2018: p. 4). En este estudio, el contenido de estos compuestos decreció progresivamente en el tiempo que duró el proceso en ambas pilas. El decrecimiento fue considerable en la etapa termófila (la concentración de polifenoles bajo de 0,59 a 0,25% y de 1,01 a 0,26% al término de la fase termófila, a causa de la capacidad microbiológica para descomponerlos, por lo tanto, sería recomendable el compostaje de las mezclas antes descritas, concordando con la investigación de (Jara, 2016: p.78).

La fitotoxicidad es un parámetro crucial para la valoración del material a compostar (Zucconi et al. 1981) citado en (Idrovo y col., 2018: p. 5). Ambas pilas presentaron un aumento sustancialmente en el %IG según avanzaba el proceso de compostaje, resultando datos superiores del mínimo establecido (IG>50%) (Muñoz et al., 2015: pp. 4-5), por consiguiente, los valores de índice de germinación incrementaron de 33,06% a 85,61% y de 35,1% a 82,3% respectivamente, a causa de la degradación de compuestos fitotóxicos a lo largo del proceso. Lo que demuestra que tanto el compost 1 y el compost 2 resultaron con un porcentaje mayor al 80%, es decir, no presenta fitotoxicidad, datos semejantes a los que obtuvo (Jara, 2020: p.4).

3.2.3. Pérdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje

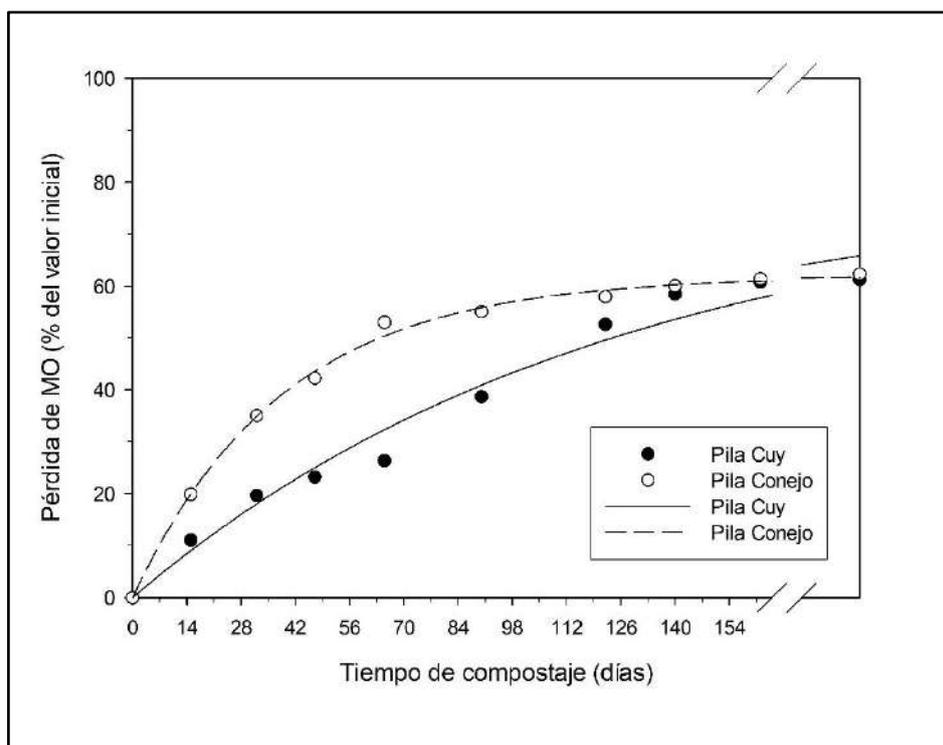


Gráfico 2-3: Pérdida de la materia orgánica de P1 y P2

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

Tabla 4-3: Variables para establecer la disminución de materia orgánica

PILA	A	SD	K	SD	R	F	SEE
P1	79,1	9,0	0,0081	0,0017	0,9872	305,57	*** 3,78
P2	61,9	0,7	0,0259	0,0010	0,9985	2664,40	*** 1,21

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

La concentración MO descendió con el pasar de los meses, de 62,93% a 39,69 y, 64,59 a 40,73 en las pilas 1 y 2, respectivamente (Tabla 2-3). En ambas pilas del 72–84% de la MO se perdió durante la etapa bio-oxidativa y las pérdidas fueron bajas a lo largo de la maduración. Esta concierne solidez de las pilas después de la etapa bio-oxidativa, es semejante al resultado de otros investigadores por (López, 2010: p. 97) debido a la actividad microbológica que emplearon la materia orgánica para adquirir energía.

De acuerdo a la ecuación cinética de primer orden (pérdida de MO= $A(1-e^{-kt})$) obtenida se estableció la disminución de materia orgánica, donde se reportaron datos de A (máxima pérdida orgánica), SEE (error estándar de estimación), ***(significancia < 0.001) y k (velocidad de degradación de materia orgánica): Pila 1: A=79,1 (9,0), k=0,0081 (0,0014), R=0,9872, F=305,57***, SEE= 3,78. P2= A=61,9 (0,7), k=0,0259 (0,0010), R=0,9985, F=2664,40***, SEE= 1,21.

Los datos de A para la pila 1 y 2 resultaron dentro del rango (54,5-83,8%), no obstante, los datos resultantes de k de las pilas difieren del rango (0,0085-0,0598) reportado por distintos autores Paredes et al., 2000; Bustamante et al., 2008; Gavilanes-Terán et al., 2016 citado en (Idrovo et al.,2018: p. 4.) La pila con estiércol de conejo resulto con datos superiores de la máxima degradación de MO (A) y la tasa de degradación (k y producto de A*K).

Tabla 5-3: Contenido de aniones en compost inicial y final

	Cl ⁻ (mg kg)	SO ₄ ²⁻ (mg kg)	NO ₃ ⁻ (mg kg)	PO ₄ ³⁻ (mg kg)
Pila 1: 65% RSD + 25% E.CUY + 10% ASER				
Inicial	779,84	13497,33	6398,71	964,81
Maduro	248,10	2999,40	6098,80	1044,79
Pila 2: 65% RSD + 25% E.CNJ + 10% ASER				
Inicial	673,52	6999,30	7399,26	924,91
Maduro	283,51	2499,15	6697,82	1529,50

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

RSD: Residuos Sólidos Domiciliarios, **E.CUY:** Estiércol de cuy, **E.CNJ:** Estiércol de conejo, **ASER:** Aserrín, **Cl⁻:** Cloruros, **SO₄²⁻:** Sulfatos, **NO₃⁻:** Nitratos, **PO₄³⁻:** Fósforo, **IG (%):** Índice de Germinación.

La concentración de aniones solubles resultó muy diversa en ambos compost como se detalla en la Tabla 5.3., resultando concentraciones altas en el compost 2: 2499,15; 6697,82; 1529,50 mg/kg para SO₄²⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ - respectivamente, mientras que en el compost 1 el que tuvo menos concentración fue el anión Cl⁻. Al comprar con (Jara, 2016, p.) en el tratamiento residuos orgánicos de origen urbano y afines en el Ecuador, se demuestra que este estudio tuvo valores relativamente superiores.

3.2.4. Concentración de macronutrientes y metales pesados

Tabla 6-3: Contenido de macronutrientes y metales pesados en el compost maduro

	Compost 1	Compost 2	Directrices* EE. UU	Directrices Europeas	Criterios ecológicos para mejoradores de suelos*
MO (%)	39,69	40,73	50-60	>15	>20
Macronutrientes (g Kg ⁻¹)					
NT	1,31	1,46	>10	-	<30
P	1,72	0,84	>10	-	-
Na	74,10	52,87	-	-	-
K	90,17	93,48	-	-	-
Metales pesados (mg Kg ⁻¹)					
As	0,11	0,11	41	-	10

Se	0,16	0,16	100	-	1,5
Cd	0,15	0,03	39	1,5	1
Hg	0,06	0,06	17	1	1
Pb	0,95	0,69	41	-	10

Realizado por: Sinche, Adriana, 2022.

%Nt: Nitrógeno total, **P:** fósforo, **Na:** Sodio, **K:** Potasio, **As:** Arsénico, **Se:** Selenio, **Cd:** Cadmio, **Hg:** Mercurio; **Pb:** Plomo.

El porcentaje de materia orgánica es semejante para ambos compost 39,69 y 50,73 para la P1 y P2 respectivamente, es decir, se encuentra dentro del criterio adecuado (50-60%) establecido por el (US Composting Council, 97 2001). Además, el contenido de materia orgánica, que presento este estudio entraría en la clasificación de compost A o B, ya que debe ser mayor o igual a 25% en bases seca, como se describe en la Norma de calidad de compost (2000).

La concentración de los macronutrientes en ambos compost resultó inferiores a los límites desarrollados por (US Composting Council, 2001), (European Commission, 2014) y (Ecological criteria for soil improvers, 2006) para su empleo como enmienda o abono del suelo. El P, Na, K reportan una alta concentración para el compost 1, mientras que, el compost 2 presento mayor concentración el Nt; las concentraciones de macronutrientes en esta investigación relativamente altos a los reportaos por (Valencia, 2016: p. 77) en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la ESPOCH. Respecto a los metales pesados, de los 5 metales pesados (As, Se, Cd, Hg y Pb) analizados, se puede observar que, en ambos compost, la concentración más baja fue de Hg, mientras que la más alta fue el Pb. Sin embargo, el contenido de metales pesados en ambos es inferior a los límites máximos desarrollados por (US Composting Council, 2001) y (European Commission, 2014); los cuales son muy semejantes a los generados por (Tixe & Ruiz, 2018: p. 92).

CONCLUSIONES

- Se montaron dos pilas móviles de compostaje de residuos sólidos domiciliarios procedentes de la cabecera parroquial San Luis mezclado con estiércol de cuy y conejo en diferentes porcentajes. Tanto la pila 1 como la pila 2 contenían 65 % de residuos orgánicos domiciliarios, 25% de estiércol de cuy y 25 % de estiércol de conejo respectivamente. Además, fue necesario la adición de 10% de aserrín en cada pila, el cual actuó como agente estructurante para una mejor degradación del material a compostar.
- Para determinación de la producción per cápita generada por los moradores de la cabecera parroquial San Luis, se realizó un levantamiento de información a través del pesaje de la cantidad de residuos orgánicos y estiércoles de especies menores (cuyes y conejos) producidos diariamente, en un mismo horario, durante tres semanas, a fin de establecer un promedio, puesto que no todas las semanas fueron semejantes, estableciendo una PPC aproximadamente de 0,5081 kg de residuos/día*hab y 0,5081 y 0,2286 kg/ día*especie de estiércol de cuy y conejo respectivamente.
- Se caracterizó la materia prima a compostar (residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de cuy y de conejo), la cual se originó de la cabecera parroquial “SAN LUIS”; donde se obtuvieron concentraciones adecuadas de macronutrientes y bajas concentraciones de elementos tóxicos inferiores a los permitidos para la elaboración de compost en beneficio de las propiedades fisicoquímicas, biológicas del suelo.
- Se realizó un control continuo desde que se armaron las pilas de compostaje, se verificó la humedad para conservar el material a compostar entre 40 y 60%, por eso fue necesario el riego de estas a partir de la cuarta semana, se controló diariamente la temperatura y humedad tanto del sustrato como ambiental, también fue necesario el volteo de las pilas, cada vez que registraba un rango de 35 y 45 °C a fin de que exista una mezcla adecuada para una desintegración completa de los residuos.
- Se comparó la calidad del compost generado a partir de la mezcla de los residuos orgánicos domiciliarios, estiércol de cuy y de conejo respectivamente, gracias a los análisis físico-químicos y biológicos realizados, observando que el compost que tuvo mayor contenido de macronutrientes prevaleciendo el potasio, bajas concentraciones de metales pesados, adecuadas concentraciones aniones y mayor índice de germinación fue el proveniente de la pila 1 compuesta por residuos orgánicos domiciliarios +estiércol de cuy+ aserrín.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Calcular una relación C/N óptima para determinar la proporción adecuada de los materiales a compostar y obtener buenos resultados al concluir el proceso.
- Registrar las variables de control del proceso todos los días en un horario determinado para medir el progreso del proceso.
- En la preparación de las muestras, respetar la temperatura indicada en la técnica, debido a que temperaturas superiores a la indicada pueden provocar pérdida de nutrientes.
- Voltar las pilas de manera periódica para conservar una oxigenación adecuada durante el proceso, garantizando una mezcla homogénea del material.
- No regar en demasía las pilas de compostaje, puesto que, se puede inhibir la actividad de los microorganismos.
- Elaborar abonos orgánicos mediante el tratamiento de los residuos orgánicos generados en los hogares con el fin de eliminar el uso de abonos químicos e impulsar una alternativa de tratamiento a los residuos orgánicos.
- Emplear compost en los suelos para optimar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUNYA. Departamento territorial de sostenibilidad " *Guía práctica para el Diseño y la explotación de plantas de compostaje*". (2016), (España) p.11. [Consulta: 2022-03-12]. Disponible en: https://residus.gencat.cat/web/.content/home/agencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf

ARCADIS. "Guía de Compostaje Domiciliario". *Programa impulsado por el ministerio del ambiente*, (2019), (Canadá) p. 14. [Consulta: 2022-03-28]. Disponible en: <https://acuerdochilecanada.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/02/Guia-Compostaje-Domiciliario.pdf>

ASSOCIACIÓ CATALANA D'ENGINYERIA SENSE FRONTERES, " Universidad Estatal Amazónica". *Manual de producción de compost*, (2018), (Ecuador) p.7. [Consulta: 2022-03-27]. Disponible en: <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf>

ÁVILA RUIZ, Wendy Andrea & MOYANO HERNÁNDEZ, July Paola. Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 Ton/Día. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá-Colombia. 2019. p.14. [Consulta: 2022-03-25]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15556/AvilaRuizWendyAndrea2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BARREROS CHILUISA, Edison Iván. Efecto de la relación de la relación Carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de Cuy (*Cavia porcellus*) enriquecido. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cevallos-Ecuador. 2017. pp.1-2. [Consulta: 2020-11-25]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25395/1/Tesis157%20%20Ingenier%20%20ada%20Agron%20%20CD%20479.pdf>

BASANTES CASCANTE, Cristian Ernesto. Co-compostaje de residuos vegetales provenientes de la Finca agropecuaria la Inmaculada con estiércol de cuy, vaca y gallinaza. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2018.pp.22-24. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10230>

BASANTES BAÑOS, María de los Ángeles; CHILUIZA MOYA, Kevin Javier. Evaluación de la producción per cápita de los residuos sólidos generados en las unidades educativas de la ciudad de Riobamba. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2017.pp.21. [Consulta: 2022-03-01]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7917/1/236T0315.PDF>

BBVA Compost, ¿Qué es el compost y cuáles son sus fases? El poder del suelo vivo [blog]. España (Bilbao), 2021. [Consulta: 2022-03-12]. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/>

BOHÓRQUEZ, W. *El proceso de compostaje* [en línea]. Argentina: Editorial Unisalle, 2019. [Consulta: 2022-01-27]. P. 21. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=libros>

BOHÓRQUEZ, Alexander; PUENTES, Yina; MENJIVAR, Juan Carlos. "Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar". *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropec.* Vol (1) (2014), (Colombia) p.4. [Consulta: 2022-04-09]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v15n1/v15n1a07.pdf>

BORTZIRIETAKO. Factores que influyen en el compostaje [blog]. [Consulta: 2022-03-27]. Disponible en: <https://www.bortziriakzabor.com/es/factores-que-influyen-en-el-compostaje/#:~:text=Los%20niveles%20%C3%B3ptimos%20de%20humedad,dedos%2C%20la%20humedad%20es%20%C3%B3ptima.>

CAMILETTI MORALES, Justin. Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza. [En línea] (Trabajo de titulación) (maestría). Universidad Miguel Hernández del Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. España. 2016. p.14. [Consulta: 2022-03-27]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2820/1/TFM%20Camiletti%20Morales%2C%20Justin.pdf>

CAMPITELLI, P. *Compostaje. Obtención de abonos de calidad para las plantas* [en línea]. Argentina: Editorial Brujas, 2014. ISBN [Consulta: 2021-01-27]. (9789875914926), pp. 12-14. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/78144/>

CANDO, Christian. “Boletín técnico N° 01-2020-GADM Residuos Sólidos”. *Instituto Nacional de Estadística y Censos* (2020), (Ecuador) pp. 5-7. [Consulta: 2021-01-15]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2019/Residuos_solidos_2019/Boletin_Tecnico_Residuos_2019%20v05_2.pdf

CASTILLO HUAMAN, Lady Cely. Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el Distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Continental, facultad de Ingeniería, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2018. p. 41. [Consulta: 2022-01-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4887>

CHIMBO ORELLANA, Victoria Estefanía. Co-compostaje con poda de los lodos generados en el centro de faenamiento cantón Guaranda provincia Bolívar (ESPOCH). [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2018. p. 41. [Consulta: 2022-01-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4887>

CORDOVA QUENAYA, Leyanira Francesca. Propuesta de mejora del proceso de compostaje de los residuos orgánicos, generados en la actividad minera, empleando microorganismos eficientes, Unidad Minera del Sur. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad nacional de san Agustín Arequipa, facultad de ingeniería de procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. 2016. p.46 [Consulta: 2022-04-05]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3086/IAcoqulf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CRUZ, Juan Pablo " Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Chimborazo". *Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo*, (2020), (Ecuador) p. 32 [Consulta: 2022-01-27]. Disponible en: <https://chimborazo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/1.-PDOT-Provincial.pdf>

EUROPEAN COMMISSION. 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. disponible en web: <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>.

EUROPEAN COMMISSION. 2001. Working document on biological treatment of biowaste. http://www.compost.it/www/pubblicazioni_on_line/biod.pdf

FAIN, Virginia.; BUTTI, Mariano., & TORTI, María. "Índice de germinación como indicador de madurez en compost de residuos de incubación". *Agricultura*, vol.10, No.37 (2018), (Argentina) p.2. [Consulta: 2022-01-28]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/indice_de_germinacion_como_indicador_de_madurez_en_compost_de_residuos_de_incubacion.pdf

FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, Lorena. Determinación y seguimiento de metales pesados en componentes de origen de compost. [En línea] (Maestría). Universidad de Oviedo, Facultad de Química, Departamento de Química orgánica e inorgánica. España. 2018. p. 25. [Consulta: 2022-01-28]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/223802/1/determicompos.pdf>

GALLART MARTÍNEZ, Fernando. La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Valencia. Escuela técnica superior de ingeniería agroalimentaria y del medio rural. 2017. P.11 [Consulta: 2022-04.07]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART%20-%20La%20conductividad%20el%C3%a9ctrica%20del%20suelo%20como%20indicador%20de%20la%20capacidad%20de%20uso%20de%20los%20suelo....pdf?Sequence=1>

GAVILANES TERÁN, Irene del Carmen. Sostenibilidad del sector agroindustrial de Ecuador mediante el compostaje de sus residuos y el uso agrícola de los materiales obtenidos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. 2016. P.53 [Consulta: 2020-12-10]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/handle/11000/5322>

GUAMÁN TACO, VERÓNICA ALEXANDRA. Evaluación de tres fuentes orgánicas (ovinos, cuy y gallinaza) en dos híbridos de cebolla (*Allium cepa*), en el barrio Tiobamba, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi, Escuela de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. 2010. P.36 [Consulta: 2022.04-07]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/957/1/T-UTC-1253.pdf>

HANG, S.; CASTÁN, E., Negro, G., & Otros. "Compostaje de estiércol de feedlot con aserrín/viruta: características del proceso y del producto final". *AGRISCIENTIA* [en línea], 2015, (Argentina) vol. 32 (1), pp. 2-3. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <file:///C:/Users/USER/Downloads/descarga.pdf>

IDROVO, Julio; GAVILANES, Irene; BUSTAMANTE, María; PAREDES, Concepción.

“Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts”. *ELSEVIER* [en línea], 2018, (Ecuador), p. 4 [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018300648?via%3Dihub>

JARA SAMANIEGO, Lourdes Janneth. Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. 2016. p.46 [Consulta: 2022-03-11]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2770/1/TD%20Jara%20Samaniego%2C%20Lourdes%20Janneth.pdf>

JARA SAMANIEGO, Lourdes Janneth. " Biotransformación de residuos orgánicos generados en la escuela superior politécnica de Chimborazo-Ecuador mediante compostaje". *Inter Sedes*. vol. XXI (44) (2020), (Costa Rica) p.4. [Consulta: 2022-04-09]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/666/66669987011/html/>

JIMÉNEZ CHUVA, Silvio Olmedo. Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2015. pp. 1-2. [Consulta: 2020-11-25]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4867>.

LAICH, Federico. “El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje” *Fertilidad y Calidad del Suelo*, (2011), (Canarias) pp. 2-3. [Consulta: 2022-01-24]. Disponible en: <https://www.icia.es/biomusa/pt/jornadas-y-actividades-pt/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo-pt/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file#:~:text=Las%20m%C3%A1s%20importantes%20son%20bacterias,microorganismos%20existente%20en%20el%20compost>.

LOPEZ WONG, Wendy. Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol [En línea] (Trabajo de titulación). Instituto Politécnico Nacional, Centro de investigación en Biotecnología Aplicada Tlaxcala-México. 2010. p. 97. [Consulta: 2022-03-27]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6940/1/TESIS%20WENNDY%20LOPEZ%20WONG.pdf>

MANUAL DE COMPOSTAJE PARA ZONAS FRÍAS, " Universidad de Magallanes y Ministerio de Medio Ambiente". *Programa compostaje*, (2018), (Chile) p.11. [Consulta: 2022-03-27]. Disponible en: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/Manual-de-Compostaje.pdf>

MEJÍA HIDALGO, Estalin Fabián & RAMOS ROMERO, Steven Stalin. Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa pública municipal mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausí y Guamote, mediante tratamientos biológicos. Compostaje, Cocompostaje, Vermicompostaje y Takakura. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2019.p 19. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10799>

MINISTERIO DEL AMBIENTE, "Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)". *Ministerio del Ambiente del Ecuador*, (2010), (Ecuador) p.11. [Consulta: 2021-01-15]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, "Manual de Aprovechamiento de residuos orgánicos municipales". *Ministerio del Ambiente y Agua*, (2020), (Ecuador) p. 42. [Consulta: 2022-03-25]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

MONSALVE, Oscar; GUTIÉRREZ, Joan. & CARDONA, Wiliam. " Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. vol. 11 (1) (2017), (Colombia) p.4. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/5663

MONTÚFAR VILLACÍS, Klever Arturo. Evaluación de diferentes sustratos comerciales sobre la viabilidad de semillas de cebolla (*Alliumcepa l.*). [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cevallos-Ecuador. 2021. p.14. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32447/1/Tesis-273%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20Mont%C3%BAfar%20Villac%C3%ADs%20Klever%20Arturo.pdf>

HUERTA MUÑOZ, Elena; CRUZ HERNÁNDEZ, Javier; AGUIRRE ÁLVAREZ, Luciano; CABALLERO MATA, Raymundo; PÉREZ HIDALGO, Luis Felipe " Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga.". *Tierra Latinoamericana*. vol. 33 (2) (2015), (México) p.4. [Consulta: 2022-04-09]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57339210008.pdf>

NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo.

NORMA DE CALIDAD DE COMPOST. Propuesta consolidada para consulta pública 10-20-2000.

PILLCO MAMANI, Katia. Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología. Puno-Perú. 2020. p.28. [Consulta: 2022-03-27]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14508/Pillco_Mamani_Katia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RIVADENEIRA SUÁREZ, Juan Miguel. Compostaje de residuos sólidos orgánicos Provenientes de los Mercados Municipales de la Ciudad de Macas, mediante la técnica de Takakura. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2018. P. 27. [Consulta: 2020-12-05]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10149>

ROJAS, Julián, & GARITA, Noelia. "Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost". *Universidad Nacional Costa Rica*. (vol. 66) (2015), (Costa Rica) p.4. [Consulta: 2021-01-17]. Disponible en:

SEPULVEDA, Fabiola; TAPIA, Francisco; GONZALES, Sergio. "Manejo de residuos sólidos biodegradables y no biodegradables". *Instituto de investigaciones agropecuarias*". (2012), (Chile) p.4. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7880/NR40248.pdf?sequence=6>

VALVERDE ROZCO, Víctor Hugo. Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de

Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2015. p. 52. [Consulta: 2022-3-12]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4861/1/96T00334%20UDCTFC.pdf>

TANYA, Mariuxi., & LEIVA, Michel. " Microorganismos ecientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas ". *Centro agrícola*, vol.46, No.2 (2019), (Cuba) pp.4-5. [Consulta: 2022-01-04]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf>

TIBOX Agrícolas, *ventajas y desventajas del compostaje* [blog]. Villamayor (Salamanca), 2019. [Consulta: 2022-01-27]. Disponible en: <https://www.fertibox.net/single-post/ventajas-compost>

TIXE PAUCAR, Marco Vinicio, & RUIZ TANDAZO, Byron José. 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] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2018.pp 19-20. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10549>

VALENCIA COAFRE, Washington Santiago. Elaboración y caracterización de compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2016. P. 18. [Consulta: 2020-11-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10549>

VALENCIA COFRE, Washington Santiago. Elaboración y caracterización de compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2018. P. 27. [Consulta: 2020-12-05]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4887>

ANEXOS

ANEXO A: PESO DE LOS RESIDUOS GENERADOS

Residuos orgánicos



Cartón



Vidrio



Papel



Plástico



Otros



Estiércol de Cuy



Estiércol de conejo



ANEXO B: DATOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (SEMANA 1)

SEMANA 1									
Jefe familiar	Peso RSD (kg)	#hab	PPC1 (RSD)	P. total de E. cuy(kg)	# de especies	PPC2 (E.Cuy)	P. total de E.cnj (kg)	#de especies	PPC3 (E.cnj)
Jannet León	3,030	6	0,505	3,065	15	0,204	2,397	10	0,240
Umberto Hidalgo	2,393	4	0,598	5,218	20	0,261	2,432	15	0,162
Josefina Tingo	1,110	2	0,555	1,121	10	0,112	3,342	12	0,279
Angélica Asqui	1,599	4	0,400	0,629	6	0,105	0,430	2	0,215
Arnulfo Carrillo	2,240	4	0,560	6,814	30	0,227	6,071	20	0,304
Luz María Lalón	2,526	5	0,505	11,732	50	0,235	0,449	2	0,224
Natalia Chafla	1,469	3	0,490	0,835	7	0,119	0,204	2	0,102
Victor Chafla	1,060	2	0,530	0,642	6	0,107	0,458	2	0,229
Rosalía Villafuerte	2,130	4	0,533	1,963	12	0,169	2,061	8	0,258
Margot Cargua	1,716	4	0,429	1,546	10	0,147	1,901	7	0,272

Fuente: Sinche Adriana, 2021

ANEXO C: DATOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (SEMANA 2)

SEMANA 2									
Jefe familiar	P. total de RSD (kg)	#hab	PPC1 (RSD)	P. total de E. cuy(kg)	# de especies	PPC2 (E.Cuy)	P. total de E.cnj (kg)	#de especies	PPC3 (E.cnj)
Jannet León	3,080	6	0,513	2,962	15	0,197	2,435	10	0,243

Umberto Hidalgo	1,944	4	0,486	5,221	20	0,261	2,550	15	0,170
Josefina Tingo	0,916	2	0,458	1,225	10	0,123	3,297	12	0,275
Angélica Asqui	1,712	4	0,428	0,641	6	0,107	0,411	2	0,205
Arnulfo Carrillo	2,728	4	0,682	6,768	30	0,226	6,143	20	0,307
Luz María Lalón	2,833	5	0,567	13,528	50	0,271	0,354	2	0,177
Natalia Chafla	1,412	3	0,471	0,762	7	0,109	0,243	2	0,122
Victor Chafla	1,172	2	0,586	0,640	6	0,107	0,431	2	0,215
Rosalía Villafuerte	1,893	4	0,473	1,984	12	0,165	2,050	8	0,256
Margot Cargua	1,784	4	0,446	1,569	10	0,157	1,940	7	0,277

Fuente: Sinche Adriana, 2021

ANEXO D: DATOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (SEMANA 3)

SEMANA 3									
Jefe familiar	P. total de RSD (kg)	#hab	PPC1 (RSD)	P. total de E. cuy(kg)	# de especies	PPC2 (E.Cuy)	P. total de E.cnj (kg)	#de especies	PPC3 (E.cnj)
Jannet León	3,013	6	0,502	3,009	15	0,201	2,434	10	0,243
Umberto Hidalgo	1,687	4	0,422	5,151	20	0,258	2,424	15	0,162
Josefina Tingo	0,943	2	0,472	1,558	10	0,156	3,273	12	0,273
Angélica Asqui	1,620	4	0,405	0,660	6	0,110	0,440	2	0,220
Arnulfo Carrillo	2,631	4	0,658	6,869	30	0,229	6,288	20	0,314
Luz María Lalón	2,818	5	0,564	11,631	50	0,233	0,473	2	0,237
Natalia Chafla	1,322	3	0,441	0,780	7	0,111	0,231	2	0,115
Victor Chafla	0,909	2	0,454	0,645	6	0,107	0,451	2	0,226
Rosalía Villafuerte	2,340	4	0,585	2,050	12	0,171	2,121	8	0,265
Margot Cargua	2,109	4	0,527	1,672	10	0,167	1,903	7	0,272

Fuente: Sinche Adriana, 2021

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA PROMEDIO

Fecha	Jefe familiar	Media PPC1 (RSD)	Media PPC2 (E.cuy)	Media PPC3 (E.cnj)
15-21 de febrero 2021	Jannet León	0,5050	0,2043	0,2397
	Umberto Hidalgo	0,5983	0,2609	0,1621
	Josefina Tingo	0,5552	0,1121	0,2785
	Angélica Asqui	0,3999	0,1048	0,2150
	Arnulfo Carrillo	0,5600	0,2271	0,3036
	Luz María Lalón	0,5051	0,2346	0,2243
	Natalia Chafla	0,4897	0,1192	0,1021
	Victor Chafla	0,5300	0,1071	0,2291
	Rosalía Villafuerte	0,5325	0,1688	0,2576
	Margot Cargua	0,4289	0,1465	0,2716
	Media	0,5105	0,1686	0,2284
22-28 de febrero 2021	Jannet León	0,5133	0,1974	0,2435
	Umberto Hidalgo	0,4859	0,2611	0,1700
	Josefina Tingo	0,4579	0,1225	0,2748
	Angélica Asqui	0,4280	0,1068	0,2054
	Arnulfo Carrillo	0,6821	0,2256	0,3071
	Luz María Lalón	0,5666	0,2706	0,1768
	Natalia Chafla	0,4707	0,1089	0,1216
	Victor Chafla	0,5859	0,1067	0,2154
	Rosalía Villafuerte	0,4733	0,1654	0,2563
	Margot Cargua	0,4459	0,1569	0,2771
	Media	0,5109	0,1722	0,2248
01-07 de marzo 2021	Jannet León	0,5022	0,2006	0,2434
	Umberto Hidalgo	0,4217	0,2575	0,1616
	Josefina Tingo	0,4716	0,1558	0,2728
	Angélica Asqui	0,4051	0,1100	0,2201
	Arnulfo Carrillo	0,6578	0,2290	0,3144
	Luz María Lalón	0,5636	0,2326	0,2366
	Natalia Chafla	0,4407	0,1114	0,1154
	Victor Chafla	0,4544	0,1075	0,2255
	Rosalía Villafuerte	0,5851	0,1708	0,2651
	Margot Cargua	0,5272	0,1672	0,2718
	Media	0,5029	0,1742	0,2327
PPC Promedio		0,5081	0,1717	0,2286

Fuente: Sinche Adriana, 2021

ANEXO F: TOMA DE MUESTRA (MÉTODO DEL CUARTEO)



ANEXO G: PREPARACIÓN DE MUESTRAS INICIALES

Pesaje



Secado



Molienda



Depósito de muestras en frascos estériles



ANEXO H: PREPARACIÓN DEL TERRENO Y RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS





ANEXO I: TRASPORTE, PESAJE Y ADECUACIÓN DE LOS RESIDUOS





ANEXO J: CONSTRUCCIÓN DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE (MÉTODO WINDROW)



Anexo K: CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LAS PILLAS



ANEXO L: GIRO DEL MATERIAL COMPOSTADO Y MUESTREO

Tiempo de compostaje día 14 (Volteo 1)



Tiempo de compostaje día 33 (Volteo 2)



Tiempo de compostaje día 48 (Volteo 3)



Tiempo de compostaje día 66 (Volteo 4)



Tiempo de compostaje día 91 (Volteo 5)



Tiempo de compostaje día 123 (Volteo 6)



Tiempo de compostaje día 141 (Volteo 7)



Tiempo de compostaje día 156 (Volteo 8)



ANEXO M: FASE DE MADURACIÓN



ANEXO N: TOMA DE MUESTRA Y RECOGIDA DE COMPOST FINAL



ANEXO O: ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE LAS MUESTRAS TOMADAS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

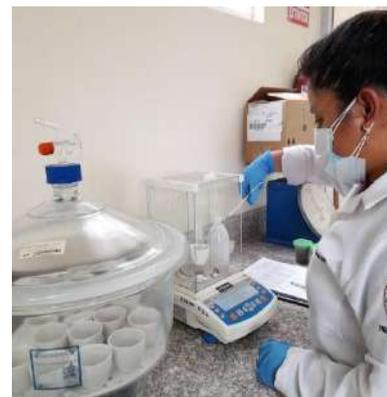
Determinación del % de humedad



Determinación de pH y Conductividad eléctrica



Determinación Materia Orgánica



Análisis de C/N



Determinación de Índice de Germinación



Determinación de polifenoles



Determinación de aniones



Determinación de macronutrientes

