



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

**“DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE
COMPOST A PARTIR DE HOJAS DE MORA Y ESTIÉRCOL DE
CUI PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN ENAMPROD DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR/ES: JEFFERSON FERNANDO COYACHAMÍN

CHILQUINGA

DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Jefferson Fernando Coyachamín Chiliquinga

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 del Autor.

Yo, Jefferson Fernando Coyachamín Chiquinga, 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 autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de enero del 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large circle with several vertical lines through it and a flourish at the bottom right.

Jefferson Fernando Coyachamín Chiquinga
220007383-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: investigativo. **“DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE HOJAS DE MORA Y ESTIÉRCOL DE CUY PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN ENAMPROD DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.”** realizado por el señor: **JEFFERSON FERNANDO COYACHAMÍN CHILQUINGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|---|------------|
| Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: MARCO RAUL CHUIZA | 2021-01-29 |
| Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, Mgs. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN |  Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA | 2021-01-29 |
| Ing. Blanca Irene Vargas Guambo. MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: BLANCA IRENE VARGAS GUAMBO | 2021-01-29 |

DEDICATORIA

Quiero dar las gracias primeramente a Dios quien es el pilar fundamental en darme la sabiduría, fortaleza y perseverancia constante durante todo el tiempo de mi preparación académica. También dar las gracias a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron el esfuerzo que siempre hicieron para que pueda continuar con mis estudios, a mis hermanos, amigos, docentes que fueron pieza fundamental en cada día de mi vida universitaria.

Jefferson.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por siempre guiarme en mi camino, por nunca abandonarme en los momentos más difíciles y brindarme de sabiduría durante toda mi preparación académica.

A las Ingenieras Mayra Zambrano y Blanca Vargas por el asesoramiento brindado durante todo el trabajo de titulación, que me han permitido culminar con éxito el mismo.

Y para finalizar mis más sinceros agradecimientos a mi familia y a mi pareja que de una u otra manera me han dado apoyo moral para no desmayar durante la realización de mi trabajo de titulación.

Jefferson.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| SUMMARY | xv |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| | |
| 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1 Diagnóstico del problema | 2 |
| 1.2 Justificación del problema..... | 3 |
| 1.3 Antecedentes | 4 |
| 1.4 Objetivos | 5 |
| 1.4.1 <i>General</i> | 5 |
| 1.4.2 <i>Específicos</i> | 5 |
| | |
| CAPITULO II | 6 |
| | |
| 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 6 |
| 2.1 Marco Teórico | 6 |
| 2.1.1 <i>Compost</i> | 6 |
| 2.1.1.1 <i>Calidad del compost</i> | 6 |
| 2.1.1.2 <i>Tipos de compost</i> | 6 |
| 2.1.1.3 <i>Clasificación del compost</i> | 7 |
| 2.1.1.4 <i>Beneficios del compost</i> | 7 |
| 2.1.1.5 <i>Usos del compost</i> | 7 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 2.1.2 | Compostaje | 8 |
| 2.1.3 | Métodos de compostaje..... | 8 |
| 2.1.3.1 | Sistemas Cerrados..... | 9 |
| 2.1.3.2 | Sistemas Abiertos | 9 |
| 2.1.3.3 | Sistemas Mixtos..... | 10 |
| 2.1.4 | Factores que afectan al proceso de compostaje | 10 |
| 2.1.4.1 | Humedad..... | 10 |
| 2.1.4.2 | Aireación..... | 11 |
| 2.1.4.3 | Temperatura..... | 11 |
| 2.1.4.4 | pH..... | 11 |
| 2.1.4.5 | Relación C/N..... | 11 |
| 2.1.4.6 | Tamaño de partícula | 12 |
| 2.1.4.7 | Dióxido de carbono CO ₂ | 12 |
| 2.1.5 | Microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje | 12 |
| 2.1.5.1 | Consumidores primarios..... | 12 |
| 2.1.5.2 | Consumidores secundarios | 13 |
| 2.1.5.3 | Consumidores terciarios | 13 |
| 2.1.6 | Fases del compostaje..... | 13 |
| 2.1.6.1 | Fase Mesófila..... | 13 |
| 2.1.6.2 | Fase Termófila o de Higienización..... | 13 |
| 2.1.6.3 | Fase de Enfriamiento o Mesófila II. | 14 |
| 2.1.6.4 | Fase de Maduración. | 14 |
| 2.1.7 | Problemas dentro de un proceso de compostaje..... | 14 |
| 2.1.8 | Residuos orgánicos..... | 16 |
| 2.1.9 | Materias primas para el proceso de compostaje..... | 16 |
| 2.1.10 | Estiércol de animales | 17 |
| 2.1.11 | Microorganismos de montaña | 17 |
| 2.1.11.1 | Beneficios de los microorganismos de montaña (MM)..... | 18 |

| | | |
|---------------------------|--|-----------|
| 2.1.12 | <i>Normativa ecuatoriana general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en el Ecuador resolución n° 99</i> | 18 |
| CAPÍTULO III | | 19 |
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 19 |
| 3.2 | Métodos y técnicas | 20 |
| 3.3 | Población de estudio: | 20 |
| 3.4 | Tamaño de la muestra: | 21 |
| 3.5 | Selección de la muestra..... | 21 |
| 3.6 | Técnica para la obtención de datos experimentales..... | 21 |
| 3.7 | Lugar del estudio experimental | 21 |
| 3.8 | Tipo de la investigación | 21 |
| 3.9 | Cálculos y Técnicas experimentales requeridos para el proceso de compostaje.. | 22 |
| 3.9.1 | <i>Cálculos para el proceso del compostaje</i> | 22 |
| 3.9.1.1 | <i>Cálculo del compost obtenido en la “composición A”</i> | 22 |
| 3.9.1.2 | <i>Cálculo del compost obtenido en la “composición B”</i> | 23 |
| 3.9.1.3 | <i>Cálculo del compost obtenido en la “composición C”</i> | 24 |
| 3.9.2 | <i>Técnicas utilizadas para los análisis físico-químicos del material de partida y producto final</i> | 25 |
| 3.9.2.1 | <i>Cálculos para la determinación de humedad</i> | 26 |
| 3.10 | Desarrollo experimental del proceso:..... | 37 |
| 3.10.1 | <i>Diagrama de flujo cultivo de microorganismos de montaña en medio sólido(mms)</i> 39 | |
| 3.10.2 | <i>Diagrama de flujo de preparación de pilas para la obtención de compost</i> | 40 |
| 3.11 | Control del proceso experimental de compostaje..... | 41 |
| 3.11.1 | <i>Cálculo de la relación C/N de la materia prima utilizada</i> | 42 |
| 3.11.2 | <i>Composición de mezclas experimentales utilizadas para obtención del compost:</i> | 42 |
| 3.11.3 | <i>Control y seguimiento rutinario del proceso de compostaje</i> | 43 |

| | | |
|------------------------|--|-----------|
| 3.11.4 | <i>Registro y tabulación de datos del control de variables en el proceso de compostaje</i> | 43 |
| | | |
| | CAPITULO IV | 49 |
| | | |
| 4. | RESULTADOS | 49 |
| 4.1 | Registro del compost obtenido al finalizar el compostaje | 49 |
| 4.2 | Caracterización del compost obtenido | 49 |
| 4.3 | Cálculo de la relación C/N del compost obtenido | 50 |
| 4.4 | Diseño de una compostera cilíndrica rotativa | 51 |
| 4.5 | Dimensionamiento del equipo con capacidad del cilindro de 578.5 litros | 52 |
| 4.6 | Construcción, montaje y costos de la compostera cilíndrica rotativa | 54 |
| 4.7 | Discusión de resultados | 56 |
| CONCLUSIONES | | 57 |
| RECOMENDACIONES | | 59 |
| GLOSARIO | | |
| BIBLIOGRAFÍA | | |
| ANEXOS | | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabla 1-2: | Tabla de problemas comunes presentes en el proceso de compostaje:..... | 15 |
| Tabla 2-3: | Ubicación geográfica del grupo de investigación ENAMPROD: | 19 |
| Tabla 3-3: | Determinación de humedad:..... | 25 |
| Tabla 4-3: | Determinación de pH:..... | 27 |
| Tabla 5-3: | Determinación de conductividad eléctrica: | 29 |
| Tabla 6-3: | Determinación de carbono orgánico total:..... | 30 |
| Tabla 7-3: | Fósforo disponible-fosfatos: | 31 |
| Tabla 8-3: | Cationes intercambiables-K-macroelementos: | 33 |
| Tabla 9-3: | Nitrógeno total-proteína bruta (Según Kjeldahl):..... | 35 |
| Tabla 10-3: | Materiales utilizados:..... | 37 |
| Tabla 11-3: | Construcción de la compostera para el proceso de compostaje experimental:..... | 37 |
| Tabla 12-3: | Preparación de cultivo de microorganismos de montaña en medio sólido(mms) . | 38 |
| Tabla 13-3: | Resultados de los análisis físico-químicos de las materias primas:..... | 41 |
| Tabla 14-3: | Composición de materia orgánica para cada compostera:..... | 43 |
| Tabla 15-3: | Materiales y equipos para el medición y registro de datos:..... | 43 |
| Tabla 16-3: | Datos de medición de temperatura: | 44 |
| Tabla 17-3: | Datos de medición de pH: | 46 |
| Tabla 18-4: | Cantidad de compost obtenido al finalizar el proceso de compostaje: | 49 |
| Tabla 19-4: | Resultados de análisis del compost obtenido en el proceso experimental:..... | 49 |
| Tabla 20-4: | Costo de materiales para la construcción de la compostera. | 55 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 1-2. | Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje..... | 14 |
| Figura 2-3. | Ubicación Geográfica del grupo de investigación ENAMPROD. | 19 |
| Figura 3-3. | Cálculo de la masa total de compost A obtenido | 22 |
| Figura 4-3. | Cálculo de la masa total de compost B obtenido..... | 23 |
| Figura 5-3. | Cálculo de la masa total de compost C obtenido..... | 24 |
| Figura 6-3. | Diagrama de flujo cultivo de microorganismos de montaña en medio sólido(mms). | 39 |
| Figura 7-3. | Diagrama de flujo de preparación de pilas para la obtención de compost. | 40 |
| Figura 8-4. | Concepción de la estructura cilíndrica de la compostera. | 51 |
| Figura 9-4. | Elementos básicos de la estructura de un cilindro..... | 52 |
| Figura 10-4. | Cilindro de la compostadora. | 52 |
| Figura 11-4. | Estructura básica del diseño del cilindro..... | 53 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gráfico 1-3: | Curva de temperatura del compostaje composición #1 | 45 |
| Gráfico 2-3: | Curva de temperatura del compostaje composición #2 | 45 |
| Gráfico 3-3: | Curva de temperatura del compostaje composición #3 | 46 |
| Gráfico 4-3: | Curva de pH en proceso de compostaje composición #1 | 47 |
| Gráfico 5-3: | Curva de pH en proceso de compostaje composición #2 | 48 |
| Gráfico 6-3: | Curva de pH en proceso de compostaje composición #3 | 48 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PROCEDIMIENTO DE CULTIVO INÓCULO DE MMS
- ANEXO B:** PROCESO DE COMPOSTAJE
- ANEXO C:** MUESTREO DE COMPOST OBTENIDO
- ANEXO D:** ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DEL COMPOST OBTENIDO
- ANEXO E:** VISTA FINAL DEL EQUIPO
- ANEXO F:** INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PARA EL ESTIÉRCOL DE CUY
- ANEXO G:** INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PARA HOJA DE MORA
- ANEXO H:** INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PARA MICROORGANISMOS DE MONTAÑA
- ANEXO I:** INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PARA EL COMPOST OBTENIDO

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo diseñar un biorreactor para la obtención de compost orgánico mediante el aprovechamiento de residuos sólidos de estiércol de cuy y hojas de mora. Como primer paso se procedió a la obtención de muestras de la materia orgánica antes mencionada provenientes de la ciudad de Riobamba, se realizó un análisis físico- químico a las muestras para determinar la mejor composición en cuanto a la relación C/N, para las hojas de mora C/N=11,64; estiércol de cuy C/N=11,61; microorganismo de montaña C/N=11,69 este último como un aporte adicional en la investigación para comprobar la eficacia en el enriquecimiento mineral del compost orgánico. Se realizaron 3 composiciones definidas: A, B, C; que ayudaron al monitoreo y control de variables como temperatura, pH, humedad y aireación durante todo el proceso de compostaje por 3 meses. En base a las variables obtenidas se realizó el dimensionamiento del equipo con las siguientes especificaciones: cilindro con capacidad de 578.5 L de acero inoxidable de dimensiones: longitud=244 cm, ancho=122 cm y espesor= 2 mm; con 20 perforaciones de 16mm para el paso de aire, este se ubicará sobre una cuna de soporte de dimensiones: longitud= 120 cm, ancho=50 cm y una altura de 20 cm con 4 ruedas que permitirán el volteo uniforme de la carga del material orgánico, que girará con ayuda de un motor de un HP con un I = 60-30 rpm con polea y banda tipo B de un solo canal, para una aireación y humectación homogénea. Finalmente, los resultados del análisis físico-químico del producto obtenido para relación C/N en A: C/N =11,64; B: C/N=11,66; C: C/N=11,57; de acuerdo a la norma chilena NCh2880 se obtuvo compost de clase A. En conclusión, el compost puede ser utilizado para el enriquecimiento de cultivos nativos de menor tamaño.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN>, <BIORREACTOR>, <TEMPERATURA>, <COMPOST>, <ESTIERCOL DE CUY>, <HOJAS DE MORA>, <MICROORGANISMO DE MONTAÑA>, <RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



21-12-2020

0516-DBRAI-UPT-2020



Firmado electrónicamente por:
MAYRA PAOLA
ZAMBRANO
VINUEZA

SUMMARY

The objective of this research work is to design a bioreactor for obtaining organic compost using solid waste from guinea pig manure and blackberry leaves. As a first step, samples of guinea pig manure were obtained in the city of Riobamba, a physical-chemical analysis was carried out on the samples to determine the best composition in terms of the C / N ratio, for the blackberry leaves C / N = 11, 64; guinea pig manure C / N = 11.61; mountain microorganism C / N = 11.69, the latter as an additional contribution in the investigation to verify the effectiveness in the mineral enrichment of organic compost. three defined compositions were made: A, B, C; that helped to monitor and control variables such as temperature, pH, humidity, and aeration throughout the composting process for three months. Based on the variables obtained, the equipment was sizing with the following specifications: cylinder with a capacity of 578.5 L of stainless steel with dimensions: length = 244 cm, width = 122 cm and thickness = 2 mm; with 20 16mm perforations for the air passage, this will be located on a container of dimensions: length = 120 cm, width = 50 cm and a height of 20 cm with 4 wheels that will allow the uniform turning off a load of organic material, It will rotate with the help of a one HP motor with an I = 60-30 rpm with a pulley and single-channel type B belt, for homogeneous aeration and humidification. Finally, the results of the physical-chemical analysis of the product obtained for the C / N ratio in A: C / N = 11.64; B: C / N = 11.66; C: C / N = 11.57; According to the Chilean standard NCh2880 class A compost was obtained. In conclusion, the compost can be used for the enrichment of native crops of smaller size.

Keywords: <INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <BIORREACTOR>, <TEMPERATURE>, <COMPOST>, <GUINEA PIG MANURE>, <BLACKBERRY LEAVES>, <MOUNTAIN MICROORGANISM>, <CARBON / NITROGEN RATIO>.

INTRODUCCIÓN

La buena gestión de los desechos generados por las diversas actividades agropecuarias desarrolladas por el hombre hoy en día se han convertido en una alternativa positiva de gran impacto social y económico ya que mediante un buen tratamiento y reutilización de los mismo se logra dar un valor agregado a estos residuos para la producción de fertilizantes, bioles y compost de tipo orgánico que son de gran utilidad en el mejoramiento agrícola en la cosecha, protección contra plagas así como también en el fortalecimiento nutricional de los suelos que en muchos de los casos son desgastados por el monocultivo y también por el uso excesivo de sustancias químicas que pueden alterar la composición físico-química de los mismos provocando erosión en el suelo.

La producción de los residuos sólidos generados por actividades agropecuarias en el país es alta ya que dentro de las actividades que fortalecen la economía se encuentran las agropecuarias ya se han de consumo nacional así como también de exportación, indistintamente la ejecución de estas por parte de empresas o de forma tradicional por pequeños agricultores, generan desechos que en su mayoría no son tratados como una alternativa de optimización de recursos ya sean por el costo de inversión o la falta de investigación que estas pueden generar.

Dentro de las alternativas que permitan optimizar recursos mediante la reutilización de los desechos orgánicos se tiene la producción de abonos orgánicos mediante el proceso de compostaje, que se puede desarrollar mediante la construcción de pilas de compostaje, composteras tradicionales o biorreactores, que permitan controlar el proceso ya sea de forma manual, semi-automática o automática.

Es por esto que en este proyecto técnico se requiere realizar el diseño de un biorreactor para obtener compost a partir de la materia orgánica de hojas de mora y estiércol de cuy, mediante el enriquecimiento por mm (microorganismo de montaña), para comprobar la mayor efectividad que poseen las composiciones preparadas para el análisis experimental de la investigación que mediante la caracterización físico-química del compost obtenido el mejor se pueda destinar para el mejoramiento de un producto agrícola en específico y que permita el diseño del biorreactor conforme a las variables obtenidas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Diagnóstico del problema

En la actualidad los desechos de tipo orgánico generados por las diversas actividades del hombre como la agricultura, silvicultura y la ganadería son factores que generan contaminación ambiental de forma directa o indirecta en los recursos naturales como son agua, aire y en especial el suelo, debido a la mala disposición y tratamientos adecuados que estos residuos orgánicos requieren, durante su descomposición en el ambiente de forma natural desprende gas metano(CH₄) hacia la atmósfera en donde actúa como gas de efecto invernadero, de igual forma la generación de lixiviados que se filtran a los efluentes hídricos y daños perjudiciales a la salud de las personas por la presencia de microorganismos patógenos. Según el Censo Agropecuario en el Ecuador en el año 2016 se produjeron 4,6 millones de cuyes entre las provincias de Azuay, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo (INEC, 2000). La crianza y producción del cuy para el consumo humano generan restos orgánicos como el estiércol que al contacto con el medio ambiente y a las condiciones climáticas expuestas se descomponen produciendo gases de efecto invernadero entre estos el: CH₄, CO₂; de igual forma la descomposición de estos restos orgánicos proporcionan un entorno adecuado para la proliferación de bacterias patógenas como el *Escherichia coli*, la concentración de Nitrógeno en el estiércol es abundante la cual está relacionada con la contaminación de efluentes subterráneos por lixiviación de nitratos a través del suelo.

A nivel nacional la producción de mora es de 4046 hectáreas(INEC, 2000). Las producciones de cultivos permanentes como la mora originan monocultivo, el cual provoca el desgaste de los nutrientes del suelo con una larga tendencia hacia la erosión del mismo promoviendo el uso de fertilizantes químicos como alternativa para el mejoramiento del suelo.

Mediante un buen manejo de los desechos orgánicos y la aplicación de las diversas técnicas de compostaje existentes en la actualidad para su obtención, hacen del compost un subproducto de gran importancia agrícola que permite enriquecer los suelos destinados para la agricultura mediante la devolución de los macro y micro nutrientes mediante abonos de alta calidad sin compuestos químicos, libres de olores y de microorganismos patógenos.

Con este proyecto se busca diseñar un biorreactor para la obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy, el cuál será aprovechado como modelo para la adquisición de un biorreactor para el grupo de investigación ENAMPROD de la Facultad de Mecánica.

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizará en las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ciencias ubicados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la ciudad de Riobamba con un periodo de tiempo estimado de 6 meses.

1.2 Justificación del problema

Una de las actividades que dinamizan la economía de nuestro país son las agropecuarias, ya que estas indistintamente de la forma en las que se las desarrolle ya sea a pequeña o gran escala mejoran la economía nacional. En tal sentido la cría de especies animales destinadas al consumo o comercialización y de igual forma las actividades agrícolas si bien mejoran la economía, es de suma importancia tener en cuenta el impacto ambiental que estas pueden generar ya sea a corto o largo plazo, por así mencionar las más sobresalientes los problemas de erosión producido por el monocultivo o el uso excesivo de sustancias químicas para el mejoramiento de la producción agrícola, la mala gestión de los residuos generados por la crianza de animales destinados al consumo humano generando contaminación en aguas o suelos. Estos problemas antes mencionados se pueden solucionar mediante alternativas que no solo sean soluciones momentáneas a los problemas, sino que además generen ingresos extras mediante el aprovechamiento de los recursos naturales. En el Ecuador más de 710.000 familias se dedica a la crianza de especies menores como el cuy según datos del PITPPA(Proyecto Nacional de Innovación Tecnológica Participativa y Productiva Agrícola), aunque existe un déficit del 20% en la oferta, en la actualidad ha incrementado en el país debido a la creciente demanda en su comercialización originando en la creación de asociaciones y microempresas que satisfagan el déficit en cuanto a su demanda, es por esto que el presente proyecto busca diseñar un biorreactor para la obtención de compost orgánico, mediante el aprovechamiento de los residuos sólidos de crianza de cuy y hojas de mora, adicionándole a la investigación el uso de microorganismos de montaña(mm), información que será de utilidad para el grupo de investigación ENAMPROD de la Facultad de Mecánica en la ESPOCH.

1.3 Antecedentes

ENAMPROD es un grupo de investigación perteneciente a la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, conformado por docentes investigadores que desarrollan y aplican conocimientos científicos y tecnológicos en proyectos de producción relacionados con productos energéticos sustentables y eficientes que coadyuven a la optimización de recursos y la mitigación del impacto ambiental permitiendo así el mejoramiento de la calidad de vida.

En la actualidad los problemas ambientales generados por las actividades del hombre entre estas la contaminación del suelo originada por la mala disposición de residuos sólidos provenientes de actividades agrícolas y ganaderas han inferido a recurrir a nuevas estrategias o métodos que permitan brindar soluciones que optimicen los recursos disponibles, dentro de las alternativas ya existentes en anteriores propuestas de investigación se plantean diseños de plantas para compostaje las cuales difieren en la metodología y la materia prima a emplear. Las propuestas planteadas se ajustan acorde a las necesidades del lugar geográfico en el que se trabaje, tiempo y de recursos disponibles.

Debido a lo antes mencionado se ha planteado en el presente proyecto de investigación el diseño de un biorreactor para la obtención de compost a partir de materia prima como el estiércol de cuy y hojas de mora, mediante el cultivo y aplicación de microorganismos de montaña (MM) que mejoren la calidad del compost obtenido, estos MM en investigaciones realizadas han demostrado brindar beneficios en el enriquecimiento de suelos mediante su aporte en la descomposición de la materia orgánica, eliminación de sustancias tóxicas del suelo, así como protección a las plantas contra microorganismos patógenos, entre otras, permitiendo el mejoramiento de la calidad del suelo.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Diseñar un biorreactor para la obtención de compost a partir de hojas de mora estiércol de cuy para el grupo de investigación ENAMPROD de la Facultad de Mecánica.

1.4.2 Específicos

- Determinar las variables de diseño del biorreactor.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del biorreactor.
- Caracterizar las materias orgánicas primas utilizadas en función de la relación C/N.
- Realizar la caracterización físico-química del compost obtenido.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Compost

Es el producto final originado del proceso de descomposición controlada por medio de microorganismos aeróbicos de los residuos sólidos orgánicos originados de actividades agropecuarias, domésticas o industriales. El objetivo de producción de compost es la reutilización y aprovechamiento de los residuos orgánicos, para regresar los nutrientes al suelo de una forma asimilable para las plantas. La calidad del compost viene dada por el tiempo de descomposición y por la higienización del mismo. (Amaguayo, 2016)

2.1.1.1 Calidad del compost

El compost para ser destinado en actividades agrícolas para mejorar la calidad del suelo y de igual forma la siembra este debe cumplir requisitos mínimos, dentro de estos: aspecto y olor agradable, higienización correcta, bajo nivel de impurezas y contaminantes, buen nivel de componentes agrónomicamente útiles. Si el compost con los criterios de calidad debido a parámetros no controlados durante el proceso de compostaje, su aplicación puede ocasionar diversos problemas en su aplicación en el suelo. (García, et al., 2014)

2.1.1.2 Tipos de compost

- Compost común: este proceso de compostaje consiste en la apilación directa y sobre el suelo capas alternadas de materiales secos y húmedos, es necesario remover la pila de forma regular para una buena aireación. (Acosta, 2020)
- Vermicompost o humus de lombriz: elaborado a partir de lombrices rojas de california es uno de los abonos ecológicos de efecto más beneficioso para las plantas y las propiedades del suelo, tanto a nivel de nutrientes como de carga microbiana beneficiosa. (Acosta, 2020)

- Bokashi, Bocashi compost: es de origen japonés, su principal ventaja es que el proceso de descomposición es mucho más rápido, esto debido a que se le añade a la gallinaza un cultivo de microorganismos que se prepara con agua, melaza y levadura. (Acosta, 2020)

2.1.1.3 Clasificación del compost

La clasificación del compost se la realiza de acuerdo a su calidad teniendo las siguientes clases:

- **Compost clase A:** es aquel producto con alto nivel de calidad, que cumple con las exigencias establecidas en la norma NCh2880, este producto no posee restricción alguna respecto a su uso, debido a que ha sido sometido a proceso de humidificación, se lo puede aplicar de forma directa en macetas sin la necesidad de ser mezclado con otros materiales, con una relación C/N= entre 10 y 25. (NCh2880, 2003)
- **Compost clase B:** producto con nivel intermedio de calidad, que cumple con exigencias establecidas con la norma NCh2880 para compost de clase B, presenta algunas restricciones respecto a su uso, su aplicación en macetas requiere de la mezcla con otros elementos adecuados, con una relación C/N= entre 10 y 40. (NCh2880, 2003)
- **Compost inmaduro o subestándar:** corresponde a aquella materia orgánica que ha pasado por las etapas de mesofílica y termofílica correspondientes al proceso de compostaje, ha sufrido una descomposición inicial sin alcanzar las etapas de enfriamiento y maduración requeridas para la obtención de compost de clase A o B, requiere de ser mezclado con otros elementos para no producir deficiencia de nitrógeno, con una relación C/N máximo de 50. (NCh2880, 2003)

2.1.1.4 Beneficios del compost

Los beneficios de los compost más destacables son: ayuda en la reducción de los residuos sólidos generados por actividades agropecuarias, facilita el almacenamiento de estos residuos, permite un mejor aprovechamiento agrícola, su metodología es flexible, ayuda a disminuir la contaminación sanitaria por la mala gestión de los residuos sólidos orgánicos. (Cajas, 2018)

2.1.1.5 Usos del compost

El uso destinado al compost dependerá del grado de madurez y del tipo de cultivo para el que se destina, tomando como referencia las épocas de primavera y otoño como óptimas para su

aplicación ya que en esas épocas el suelo se encuentra caliente y la adición del compost lo calentará aún más favoreciendo la actividad de los microorganismos y el desarrollo de las raíces de la planta.

La aplicación del compost se encuentra diferenciado por dos grados de madurez:

- Compost fresco: (2 a 3 meses) con corto periodo de maduración con presencia de material sin descomponer. Tiene un uso principal como protección frente a los cambios de temperatura y de humedad, en especial en las heladas, a su vez mejora las características del suelo y evita la aparición de malas hierbas. (Manual de compostaje, 2009)
- Compost maduro: (5 a 6 meses compostando aproximadamente) es aquel que posee un largo periodo de maduración y sin presencia de materiales sin descomponer con excepción de aquellos de lenta descomposición como: ramas, cáscaras de huevos, etc. Su uso principalmente es como fertilizante ya que aporta elementos minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), además de favorecer la capacidad de retención de agua. (Manual de compostaje, 2009)

2.1.2 Compostaje

El compostaje es un proceso que lleva tiempo en su desarrollo, es utilizado en la agricultura mediante el cual consiste en el apilamiento de residuos orgánicos de la casa, excrementos animales y restos de cosecha, su degradación los hace de fácil manejo permitiendo el aprovechamiento para mejorar el suelo y así los cultivos. El compostaje es un sistema de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables en los que intervienen varios microorganismos descomponedores, este proceso se lo realiza en condiciones controladas (siempre aeróbicas y mayoritariamente termófilas) generando un producto estable compost que se puede almacenar y que se higieniza sanitariamente. (Cajas, 2018)

Su ejecución es muy simple y versátil ya que es aplicable a todo tipo de residuos de carácter orgánico y mezclas, las escalas de trabajo son muy diversas conforme a la metodología aplicada, y requiere sistemas tecnológicos mucho o poco sofisticados dependiendo de la necesidad que se requiera satisfacer conforme a los estudios realizados. (Cajas, 2018)

2.1.3 Métodos de compostaje

Los métodos de compostaje son aquellos en los que se puede gestionar todo el proceso de compostaje de la materia orgánica de partida, la forma en la que se suministra a esta humedad o

aire, las condiciones adecuadas y lugar donde se realiza el compostaje. Existe una amplia variedad de métodos o técnicas, pero todas se basan en el mismo fundamento, controlar todos los parámetros que permitan brindar las condiciones adecuadas para el desarrollo óptimo de las poblaciones microbianas que intervienen dentro del mismo y un buen rendimiento en la descomposición de los residuos orgánicos, generando un sustrato de alta calidad, apto para la nutrición vegetal. Independientemente del procedimiento que se emplee, la calidad de un compost está dada por el material orgánico de partida y las condiciones biofísico-químicas que se brinden para el óptimo desarrollo del proceso. Atendiendo a las necesidades de este proceso, se pueden mencionar dos sistemas de compostaje existentes: cerrados y abiertos.(Pastor, 2019)

2.1.3.1 Sistemas Cerrados

Son aquellos en los que el proceso de descomposición de la materia orgánica se lo realiza dentro de un contenedor cerrado, denominado como reactor o digestor, en este tipo de dispositivos el material de partida es introducido en su interior y el proceso es controlado de forma continua. El tiempo de descomposición es menor, los olores generados, así como los parámetros (temperatura, aireación, humedad) son controlados de forma eficaz por un sistema monitorizado. Pese a sus ventajas este tipo de sistemas poseen un costo de inversión muy elevado, en cuanto a mantenimiento, adaptación en cuanto a modificaciones de volúmenes de producción es limitado y complejo y la única forma de aumentarlo es adquiriendo otro reactor o modificando el existente. Este tipo de sistemas son utilizados para compostaje a pequeña o mediana escala, debido a su volumen de producción, se los encuentra básicamente dos configuraciones; biorreactores verticales y horizontales.(Pastor, 2019)

- En los biorreactores verticales, su altura supera la superficie que ocupa su base, el material compostable es añadido por la parte superior y la descomposición va de a poco de forma gradual en la parte inferior en el seno del reactor.(Pastor, 2019)
- Los sistemas horizontales poseen la característica de tratar al material de partida de forma continua y mecánica, por rotación del cilindro o por los dispositivos de agitación instalados en su interior. Su sistema es modificable en cuanto a configuración y estructura ya que varían en función del diseño que se realice, su estructura está formada por un contenedor horizontal en el cual por un extremo se añade el material orgánico y por el otro extremo se extrae el compost.(Pastor, 2019)

2.1.3.2 Sistemas Abiertos

Son aquellos donde el procedimiento se realiza en espacios total o parcialmente abiertos, este tipo de sistemas son más requeridos a nivel industrial, doméstico y agrícola, en cuanto a su estructura posee una gran versatilidad y capacidad de adaptación de acuerdo a las circunstancias. Este tipo de sistema requieren mayor superficie para su construcción y tiempo de descomposición, pero también ventajas como menos costo de inversión, bajo o nulo mantenimiento capaz de ser instalado en cualquier ambiente, se adapta fácilmente a las variaciones de volúmenes de producción.(Pastor, 2019)

A causa de estas características existen multitud de conformaciones y variantes para los sistemas de compostaje abiertos. Si bien muchos autores y asociaciones de distinta índole han descrito e investigado sobre múltiples formas de llevar a cabo el compostaje en sistema abierto, todos los formatos son variaciones de una misma conformación única sobre la cual se añaden elementos o se modifican algunos aspectos.(Pastor, 2019)

2.1.3.3 Sistemas Mixtos

Los sistemas mixtos combinan los sistemas abiertos y los cerrados, normalmente en las fases iniciales del proceso de compostaje se realizan en sistemas cerrados para así acelerar la descomposición de la materia orgánica, y la fase de maduración se desarrolla en sistemas abiertos, generalmente en pilas o hileras volteadas. (Qhispe, 2017)

2.1.4 Factores que afectan al proceso de compostaje

Debido a que este proceso es de tipo microbiológico, es necesario controlar los factores que intervienen dentro del proceso de compostaje, teniendo las siguientes variables:

2.1.4.1 Humedad

La humedad es un parámetro de suma importancia ya que de la misma dependerá el desarrollo de las actividades microbianas durante todo el proceso de compostaje. Es recomendable un análisis físico-químico del material de partida para determinar la humedad correcta que deberá contener nuestra mezcla de residuos orgánicos, ya que su exceso o ausencia influirán en la calidad de nuestro producto final, la humedad recomendada para el buen desempeño del proceso fermentativo o de descomposición se encuentra entre el 51 y 61% la cual se la puede determinar mediante la prueba del puño.(Tipán, 2016)

2.1.4.2 Aireación

Este parámetro es uno de los principales a controlar durante el compostaje aeróbico de forma conjunta con la relación C/N, ya que permitirán la supervivencia del microorganismo descomponedores en cada una de las etapas, una adecuada circulación de aire garantizara que la temperatura sea igual en toda la materia orgánica ayudando a una higienización correcta del compost. (López, 2013)

2.1.4.3 Temperatura

La temperatura es un parámetro que se encuentra directamente ligado con la actividad de las poblaciones microbianas, la misma actúa como un factor limitante y de regulación de la distribución de estas poblaciones. La variación de la temperatura viene dada en función de cada fase del proceso, iniciando a temperatura ambiente y llegando hasta los 65°C sin la necesidad de una fuente de calor externa, finalmente llegando nuevamente a temperatura ambiente en la fase de maduración. Es recomendable que la temperatura no baje de forma inmediata ya que a mayor temperatura y tiempo, se obtendrá una mejor velocidad de descomposición e higienización.(FAO, 2013)

2.1.4.4 pH

Este parámetro influye de forma directa en el desarrollo de las poblaciones microbianas durante el proceso del compostaje y de igual manera sobre las plantas o restos de las mismas que se utilizarán como suministros de nutrientes en dicho proceso. El pH del proceso está relacionado con el material de partida variando en cada fase desde 4.5 a 8.5, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH es una variable de suma importancia para el desarrollo y supervivencia de los microorganismos teniendo así una mayor actividad bacteriana en pH 6,0- 7,5; mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0 con un rango ideal de 5,8 a 7,2.(FAO, 2013)

2.1.4.5 Relación C/N

Esta relación es un parámetro de gran importancia para las poblaciones microbianas debido a que estas utilizan carbono para obtener energía y nitrógeno para formar proteínas y estructuras celulares. Esta variable varía de acuerdo al material orgánico de partida, su valor se obtiene al dividir el contenido de C (%C total) para el contenido de N total (%N total) del material

destinado a compostaje. Esta relación también varía a lo largo del proceso, teniendo una reducción continua de 35:1 a 15:1. (FAO, 2013)

2.1.4.6 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula influye en el desarrollo de las actividades microbianas, facilitando o no el acceso al sustrato. Para iniciar el compostaje se recomienda un tamaño de partícula de 5 a 20 cm, en aquellos residuos de grandes tamaños es necesario triturarlos para facilitar su degradación de forma homogénea con el resto de materiales. La densidad del material de partida conjuntamente con la aireación de la pila están muy relacionados.(Cajas, 2018)

2.1.4.7 Dióxido de carbono CO₂

Durante el proceso en las pilas de compostaje, debido a la actividad microbiana se produce la liberación de CO₂, se estima que se producen entre 2 y 3 toneladas por día, en el proceso de compostaje, el CO₂ liberado es capturado por las plantas durante la fotosíntesis por lo que no genera un gran impacto al ambiente.(Cajas, 2018)

2.1.5 Microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje

El proceso de compostaje es una alternativa que contribuye a la mejora del medio ambiente, en este proceso se forman pilas de material orgánico destinado a compostar el cual forma un micro hábitat con características distintas al del entorno propiciando la aparición de microorganismos adaptados especialmente a esas condiciones, entre estos se tiene según la red trófica:

2.1.5.1 Consumidores primarios

Bacterias: son los más pequeños y numerosos como los cocos, bacilos, espiroquetas, poseen una amplia gama de encimas capaces de romper químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos.

- Macroorganismos fermentadores: organismos visibles que consumen la materia orgánica directamente tales como: moscas, lombrices, caracoles, cochinillas, son más activos en las etapas finales. (Compostadores, 2018)
- Hongos: son poco numerosos, pero tienen mayor masa a diferencia de las bacterias o actinomicetos, son los responsables de la descomposición de los polímeros vegetales complejos, demasiados secos, ácidos o pobres en nitrógeno. (Compostadores, 2018)

- Protozoos: son animales unicelulares que se encuentran presentes en las gotas de agua presentes en el residuo a compostar, obtienen su alimento de la materia orgánica, aunque también actúan como consumidores secundarios ingiriendo bacterias y hongos. (Compostadores, 2018)

2.1.5.2 Consumidores secundarios

Son macroorganismos que se alimentan de los consumidores primarios entre estos se tienen: escarabajos, protozoos, ácaros de molde, gusanos planos de tierra, etc. (Compostadores, 2018)

2.1.5.3 Consumidores terciarios

Se alimentan de la materia orgánica viva es decir de microorganismos primarios y secundarios entre estos se tienen a las hormigas, arañas, escorpiones, etc. (Compostadores, 2018)

2.1.6 Fases del compostaje

2.1.6.1 Fase Mesófila.

Con un tiempo de duración que va de 2 a 8 días. El material orgánico empieza su degradación con una temperatura ambiente, y aumenta hasta los 45°C, al transcurrir el tiempo ya sea horas o días. Este cambio de temperatura se debe a la actividad microbiana ya que utilizan las fuentes de C y N produciendo calor. La degradación de los azúcares da como resultados ácidos orgánicos dando paso a una reducción de pH 4.0 o 4.5.(FAO, 2013)

2.1.6.2 Fase Termófila o de Higienización.

Esta fase tiene un tiempo de duración de días e incluso meses, de acuerdo al material destinado a compostaje, al lugar y a las condiciones climáticas, también denominada fase de higienización ya que la temperatura de 45° C que alcanza el proceso da paso a la eliminación de bacterias y contaminantes de origen fecal, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su termófilas, que facilitan la degradación de fuentes complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos convierten el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. A partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos.(FAO, 2013)

2.1.6.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II.

Esta fase requiere de un tiempo de varias semanas, al agotarse las fuentes de carbono del material de partida, en especial el nitrógeno, la temperatura del proceso baja una vez más a los 40-45°C. En esta fase, aun se degradan los polímeros como la celulosa y se presencia el crecimiento de algunos hongos visibles. Al disminuir la temperatura de 40° C, los microorganismos se reactivan y el pH del medio baja un poco, aunque en general este se mantiene ligeramente alcalino.(FAO, 2013)

2.1.6.4 Fase de Maduración.

Requiere de período de varios meses a temperatura ambiente, tiempo en el cual se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de los compuestos carbonados para dar paso a la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.(FAO, 2013)

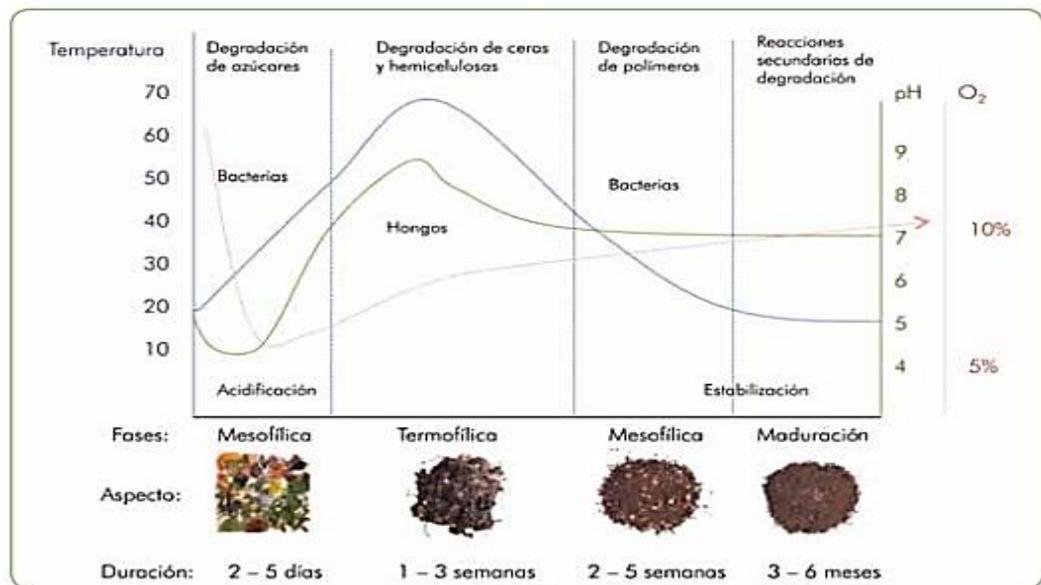


Figura 1-2. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.

Fuente: FAO, 2013

2.1.7 Problemas dentro de un proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje pueden presentarse varios inconvenientes que pueden llegar a alterar el mismo por lo que es recomendable tener en cuenta los siguientes puntos a tratar que se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Tabla de problemas comunes presentes en el proceso de compostaje:

| SÍNTOMA | PROBLEMA POSIBLE | REMEDIO |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Malos olores | <ol style="list-style-type: none"> Demasiado mojado Necesita más aire Exceso de materiales con alto contenido de nitrógeno. | <p>Agréguete a la pila materiales secos como hojas.</p> <p>Voltee la pila para incorporarle más aire o mezcle materiales que no se compacten para crear espacios de aire.</p> <p>Agregue y mezcle materiales con alto contenido de carbono como olotes, hojas secas, etc.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> La pila tiene olor a amoníaco | <ol style="list-style-type: none"> Demasiados materiales verdes. La relación C/N está fuera de balance. | <p>Voltee la pila o agréguele materiales secos como aserrín o pedazos de madera.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> El proceso es muy lento | <p>Las partículas en la pila de compost son demasiado grandes.</p> | <p>Corte los desechos en pedazos que no sean mayores de 20 o 25 cms, además se puede agregar material compostado para proveer más microorganismos.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> La pila no se calienta | <ol style="list-style-type: none"> Falta de nitrógeno El área superficial de la pila de compost puede ser muy pequeña. | <ol style="list-style-type: none"> Agréguete materiales con nitrógeno como grama verde o |

| | | |
|---|-------------------------|---|
| | | desechos de vegetales. 2. Mezcle más materiales para crear una pila más grande |
| <ul style="list-style-type: none"> • El centro está seco | No hay suficiente agua. | Agregue agua cuando este volteando la pila de compost |

Fuente: GARRABOU, RAMÓN, 1996

Realizado por: Coyachamín Chiliquinga, Jefferson, 2020

2.1.8 Residuos orgánicos

Se denominan desechos o residuos orgánicos a todos aquellos que provienen de los seres vivos ya sean animales o vegetales, estos suelen ser tratados de mala manera provocando cantidades de contaminación importantes, estos pueden reutilizarse a efectos de obtener algún tipo de beneficio de ellos. Una de las formas de realizar esta tarea consiste en utilizar algunas de sus clases como abono para el cultivo de vegetales, generando tierra rica en nutrientes a partir de un tratamiento sencillo de llevar a cabo. Otro tipo de tratamiento puede ser el de generar gas para utilizarse como energía; así, la descomposición de los desechos orgánicos bajo determinadas circunstancias genera el denominado gas de los pantanos, que se caracteriza por su capacidad de combustión. En algunos casos de desechos específicos, también pueden utilizarse para alimentar a determinado tipo de animales. Entre estos se tienen: restos de frutas y verduras, cascarás de huevos, excrementos de animales, huesos, restos de carne, papel, restos de poda etc. (EDITORIAL DEFINICIONMX, 2014)

2.1.9 Materias primas para el proceso de compostaje

La materia prima necesaria para la elaboración del compost debe ser de carácter orgánico, con la única condición de que esta no se encuentre contaminada, estas materias primas proceden de diferentes fuentes entre estas tenemos:

- Restos de cosechas: pueden restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc son ricos en nitrógeno y pobres en carbono, restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc son menos ricos en nitrógeno.

- Abonos verdes: restos de césped, malas hierbas, etc.
- Las ramas de poda de los frutales: requieren de trituración antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes aumenta el tiempo de descomposición.
- Hojas: pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.
- Restos urbanos: provienen de las cocinas como pueden ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.(INFOAGRO, 2018)
- Estiércol animal: destaca el estiércol de vaca, también se utilizan la gallinaza, conejina o sirle, estiércol de caballo, de oveja y los purines.
- Complementos minerales: necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- Plantas marinas: anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compost ya que son compuestos ricos en N, P, C, oligoelementos y biocompuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.
- Algas: también pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compost. (INFOAGRO, 2018)

2.1.10 Estiércol de animales

Proviene de la crianza de animales de granja como vacas, ovejas, gallinas, cuy, etc., Los mejores estiércoles que pueden ser utilizados como material de partida para el proceso de compostaje es obtenido de animales que han sido alimentados con forrajes verdes ya que durante su digestión no todo el contenido nutricional del forraje es asimilado por el animal, a diferencia de los alimentos formulados que llegan a ser absorbidos totalmente por el animal, produciendo un estiércol de baja calidad para ser destinado para el enriquecimiento de suelos. Es recomendable utilizar estiércoles que son criados bajo sombra, debido a que se evita la volatilización de algunos de los nutrientes a su vez haciéndolo más rico en microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje. (QHISPE, 2017)

2.1.11 Microorganismos de montaña

Son aquellos tipos de microorganismos que están constituidos por colonias de hongos, levaduras y bacterias benéficas que se encuentran de forma natural en la descomposición de restos de materia orgánica vegetal en bosques de diferentes ecosistemas facilitando así los nutrientes necesarios para el enriquecimiento de los suelos de forma natural,

Este tipo de microorganismos son un cultivo mixto líquido de microorganismos benéficos (Rhodopseudomonas spp, Lactobacillus spp, Sacharomyces spp, actinomicetos y hongos fermentadores), capturados de sistemas naturales, los cuales no han sido sometidos a modificación genética y se relacionan de forma simbiótica coexistiendo entre sí, lo cual ha generado efectos positivos para un ambiente en equilibrio.(CAMPO et al., 2014: pp.81)

2.1.11.1 Beneficios de los microorganismos de montaña (MM)

1. Degradan sustancias tóxicas (plaguicidas) incrementando el valor nutricional del suelo.
2. Reducción de concentraciones de amonio nitrito y nitrato en el agua.
3. Protección contra patógenos en las plantas
4. Inhiben el crecimiento de microorganismos dañinos en el suelo.
5. Fijan nitrógeno en el suelo.
6. Aceleran la germinación de semillas. (CAMPO et al., 2014: pp.81)

2.1.12 Normativa ecuatoriana general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en el Ecuador resolución n° 99

EL MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y pesca), decreta la resolución N° 99 el 30 de septiembre de 2013 mediante el **Capítulo III:** Producción vegetal orgánica **Artículo: 18.** De la fertilidad del suelo y nutrición de las plantas, dispone que tanto la actividad biológica como la fertilidad natural del suelo, deberán ser mantenidas e incrementadas mediante:

- Solamente podrán utilizarse fertilizantes y acondicionadores del suelo que hayan sido autorizados para su utilización en la producción orgánica.
- No se utilizarán fertilizantes minerales nitrogenados.
- Para la activación del compost se utilizarán preparados adecuados estos a base de plantas o preparados de microorganismos. (MAGAP, 2013)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Localización del Proyecto

El grupo de investigación ENAMPROD se encuentra situado en la Facultad de Mecánica en la ESPOCH

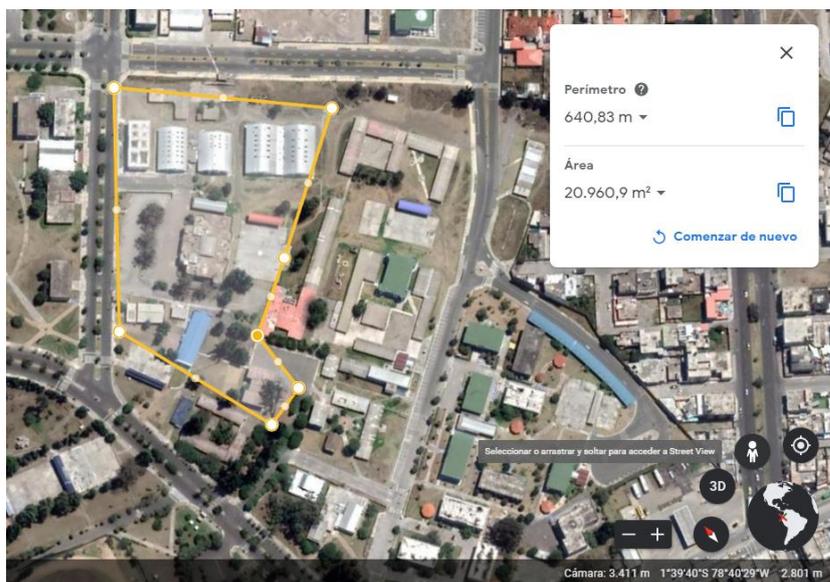


Figura 2-3. Ubicación Geográfica del grupo de investigación ENAMPROD.

Fuente: Google Maps, 2007

Detalle de las características geográficas correspondientes:

Tabla 2-3: Ubicación geográfica del grupo de investigación ENAMPROD:

| ELEMENTO | LOCALIZACIÓN |
|-------------------------|------------------------|
| País | Ecuador |
| Provincia | Chimborazo |
| Cantón | Riobamba |
| Altitud | 2.802 m |
| Coordenadas geográficas | 1°39'30" S 78°49'39" W |

Fuente: Google Maps, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.2 Métodos y técnicas

Estos puntos dentro del proceso ayudaran a la obtención de datos lo cual ayudara a tomar decisiones en la aplicación del diseño del proceso industrial que se aplicara.

El proyecto de tipo Técnico de diseño de un biorreactor para la obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy se encuentra conformado por 4 etapas que son inductiva, deductiva, experimental y de diseño, mediante las cuales se pudieron determinar puntos como: caracterización de materias primas utilizadas, determinación de variables, diseño y validación del equipo, puntos clave que permiten sustentar el buen desarrollo del proyecto.

1. Etapa inductiva: se realizará con la ayuda de recolección de las respectivas muestras in situ que conformarán parte de la materia orgánica para la obtención del abono orgánico, de igual forma la respectiva información bibliográfica para el correcto manejo de las muestras, variables del proceso de compostaje, normativas vigentes.
2. Etapa deductiva: mediante la recopilación bibliográfica necesaria se podrá determinar la metodología más adecuada para la obtención del abono orgánico, basándose en los análisis físico-químicos de la materia prima utilizada
3. Etapa experimental: se realizará la construcción de composteras caseras que ayuden a la obtención de compost mediante la utilización de diferentes composiciones de las materias primas, pudiendo así obtener las variables necesarias del proceso que permitan diseñar el biorreactor para obtener un buen compost.
4. Etapa de diseño: mediante la obtención de las variables del proceso y los análisis físico-químicos del compost de forma experimental, se procederá a diseñar el biorreactor mediante los cálculos respectivos de ingeniera.

3.3 Población de estudio:

La población de estudio utilizada para el desarrollo del trabajo de investigación fue tomada al azar para la toma de muestras de la materia orgánica requerida para el proceso de compostaje experimental para la toma de variables que ayuden en el dimensionamiento del biorreactor. Para el caso de muestras de estiércol de cuy 1 quintal y 3 Kg hojas de mora se obtuvieron de una propiedad dedicada a actividades agropecuarias situada en la ciudad de Riobamba. Los MMS (microorganismo de montaña en medio sólido) fueron obtenidos de un cultivo de inculo recolectado de una finca en la ciudad de Francisco de Orellana.

3.4 Tamaño de la muestra:

Para el desarrollo experimental requerido para el dimensionamiento del biorreactor se construyeron 3 composteras en cada una de ellas se colocó un valor de peso estimado en base a los resultados de la relación C/N.

3.5 Selección de la muestra

Las muestras de materia orgánica requeridas para la preparación de las diferentes composiciones para el proceso de compostaje fueron obtenidas al azar de una propiedad dedicada a actividades agropecuarias situada en el cantón Riobamba.

3.6 Técnica para la obtención de datos experimentales

Para la recolección de datos necesarios para el dimensionamiento del biorreactor se tomó como referencia la información bibliográfica obtenida de investigaciones anteriores. Entre estas: preparación de pilas de compostaje, seguimiento semanal y mensual de las pilas de compostaje, muestreo y control del proceso de compostaje y tabulación de datos obtenidos.

3.7 Lugar del estudio experimental

El proceso de compostaje requerido como parte experimental para el dimensionamiento del biorreactor se lo realizó en la ciudad de Puerto Francisco de Orellana, mientras que los análisis de seguimiento cualitativo en el Laboratorio Químico Ambiental “LABSU” situado en la misma ciudad.

3.8 Tipo de la investigación

La investigación es de tipo técnico-experimental, ya que mediante la recopilación bibliográfica se plantearon diversas composiciones de materia prima para cada una de las composteras, que mediante la toma de datos se pueden comprender e interpretar cada una de las variables requeridas para el buen funcionamiento del proceso de compostaje.

Es aplicativa ya que los datos obtenidos de la experimentación serán plasmados en el dimensionamiento del biorreactor para la obtención de compost.

3.9 Cálculos y Técnicas experimentales requeridos para el proceso de compostaje

Es de gran importancia realizar un análisis físico-químico a la materia prima utilizada para el proceso experimental de compostaje, los cuales nos permitirán conocer características elementales útiles para obtener un compost de calidad.

3.9.1 Cálculos para el proceso del compostaje

3.9.1.1 Cálculo del compost obtenido en la “composición A”

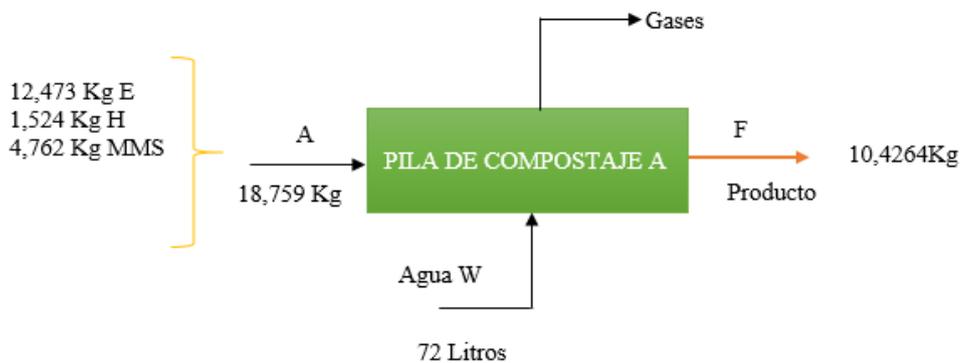


Figura 3-3. Cálculo de la masa total de compost A obtenido

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

$$\rho_{H_2O} = 996,59 \frac{Kg}{m^3}$$

Masa de agua

$$W = m_{H_2O} = v * \rho = 72 L * 996,59 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1m^3}{1000L} = 71,754Kg$$

Balance Global

$$A + W = F + G$$

$$G = A + W - F$$

$$G = 18,759Kg + 71,754Kg - 10,4264Kg = 80,08 Kg$$

Balance de Nitrógeno

$$X_N^E * E + X_N^H * H + X_N^{mms} * MMS = X_N^F * F + m_N^G$$

- X_N^E = Fracción de N en estiércol
- X_N^H = fracción de N en hojas de mora
- X_N^{mms} = fracción de N en microorganismo de montaña
- X_N^F = fracción de N en F

- $m_N^G = \text{masa de N en gases}$

$$\begin{aligned} & (0,0113) * 12,473Kg + (0,0115) * 1,524Kg + (0,0064 + 4,762Kg) \\ & = 0,0075 * 10,4264Kg + m_N^G \\ & m_N^G = 0,1110Kg \end{aligned}$$

Balance de Carbono

$$\begin{aligned} & X_C^E * E + X_C^H * H + X_C^{MMS} * MMS = X_C^F * F + m_C^G \\ & (0,1312) * 12,473 + (0,1339) * 1,524 Kg + (0,07449) * 4,762 \\ & = (0,0875) * 10,4264Kg + m_C^G \\ & m_C^G = 1,286Kg \end{aligned}$$

Producción por Kilogramo de materia

$$P = \frac{F \text{ kg}}{(E + H)Kg}$$

$$P = \frac{10,4264 Kg}{(12,473 + 1,524)Kg} = 0,74 \frac{Kg \text{ compost}}{Kg \text{ materia}}$$

3.9.1.2 Cálculo del compost obtenido en la "composición B"

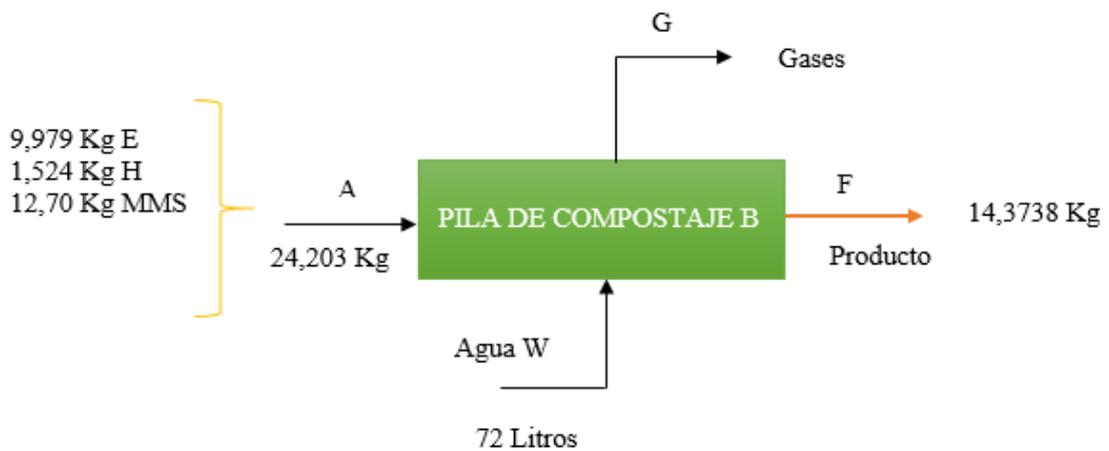


Figura 4-3. Cálculo de la masa total de compost B obtenido

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Masa de agua

$$W = 72 L * 996,59 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1m^3}{1000 L} = 71,75Kg$$

$$A + W = F + G$$

$$G = A + W - F$$

$$G = 24,203 \text{ Kg} + 71,754 \text{ Kg} - 14,3738 \text{ Kg} = 81,583 \text{ Kg}$$

Balance de Nitrógeno

$$\begin{aligned} & (0,0113) * 9,979 \text{ Kg} + (0,0115) * 1,524 \text{ Kg} + (0,0064) * 12,7 \text{ Kg} \\ & = 0,008(14,3738 \text{ Kg}) + m_N^G \\ & m_N^G = 0,0966 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Balance de Carbono

$$\begin{aligned} & (0,1312) * 9,979 \text{ Kg} + (0,1339) * 1,524 \text{ Kg} + (0,0748) * 12,7 \text{ Kg} \\ & = (0,0933)(14,3738) + m_C^G \\ & m_C^G = 1,12 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Producción por Kilogramo de materia

$$P = \frac{14,3738 \text{ Kg}}{(9,979 + 1,524) \text{ Kg}} = 1,2496 \frac{\text{Kg compost}}{\text{Kg materia}}$$

3.9.1.3 Cálculo del compost obtenido en la “composición C”

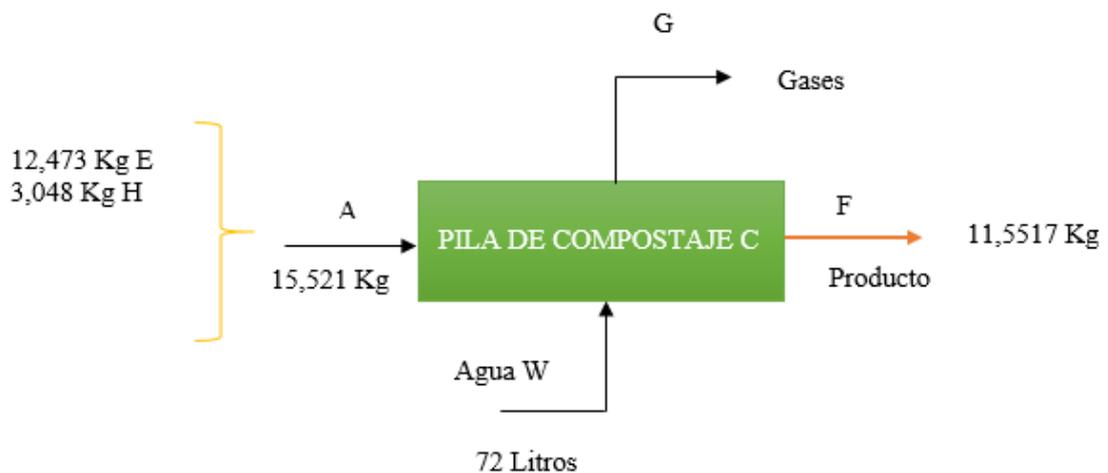


Figura 5-3. Cálculo de la masa total de compost C obtenido

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Masa de agua

$$W = 72 \text{ L} * 996,59 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 71,754 \text{ Kg}$$

$$A + W = F + G$$

$$G = A + W - F$$

$$G = 15,521 \text{ Kg} + 71,754 \text{ Kg} - 11,5517 \text{ Kg} = 75,724 \text{ Kg}$$

Balance de Nitrógeno

$$(0,0113) * 12,473Kg + (0,0115) * 3,048Kg = 0,0072(11,5517Kg) + m_N^G$$
$$m_N^G = 0,098Kg$$

Balance de Carbono

$$(0,1312) * 12,473Kg + (0,1339) * 3,048Kg = 0,0832 * 11,5517Kg + m_C^G$$
$$m_C^G = 1,08Kg$$

Producción por Kilogramo de materia

$$P = \frac{11,5517Kg}{(12,473 + 3,048)Kg} = 0,74426 \frac{Kg \text{ compost}}{Kg \text{ materia}}$$

3.9.2 Técnicas utilizadas para los análisis físico-químicos del material de partida y producto final.

Es de gran importancia y utilidad realizar un análisis de nuestro material de partida, para conocer las características del mismo y así llevar a cabo un buen proceso de compostaje, estas técnicas se realizarán conforme los métodos de ensayo establecidos por el laboratorio LABSU como se detalla a continuación:

Tabla 3-3: Determinación de humedad:

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TÉCNICA |
|---|--|--|
| La técnica para la determinación de la humedad, permite conocer el contenido de agua que contiene la materia prima utilizada al momento de haber tomado la muestra. | <ul style="list-style-type: none">• Balanza analítica• Capsulas de porcelana• Estufa• Espátula• Pinzas• Desecador | <ol style="list-style-type: none">1. Se pesa la cápsula en la balanza analítica anotando el valor respectivo.2. Tarar la balanza y pesar 2 gramos de la muestra fresca respectiva.3. Tomar con las pinzas la cápsula y llevarla a la estufa por 24 h a 105°C.4. Llevar la cápsula al desecador por 1 hora aproximadamente y |

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>pesar nuevamente la cápsula.</p> <p>5. Aplicar la siguiente fórmula para el cálculo de la humedad.</p> |
|--|--|---|

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.9.2.1 Cálculos para la determinación de humedad

Fórmula para el cálculo respectivo:

$$\frac{g \text{ muestra seca} - g \text{ cápsula}}{g \text{ muestra húmeda}} \times 100 = \% \text{ seca}$$

$$100 - \% \text{ seca} = \% \text{ humedad}$$

Estiércol de cuy

$$\frac{66.4983g - 63.1072g}{5.0708g} \times 100 = 66.875\% \text{ seca}$$

$$100 - 66.875 = 33.125\% \text{ humedad}$$

Hojas de mora

$$\frac{62.0041g - 59.2752g}{5.0082g} \times 100 = 54.4886\% \text{ seca}$$

$$100 - 54.5114 = 45.5114\% \text{ humedad}$$

MMS (microorganismos de montaña sólido en medio sólido)

$$\frac{66.0770g - 63.4386g}{5.0314g} \times 100 = 52,4386\% \text{ seca}$$

$$100 - 52,4386 = \mathbf{47,5614\% \textit{ humedad}}$$

ABONO COMPOSICIÓN b2701A

$$\frac{57,2553g - 55.6581g}{5.1580g} \times 100 = 30.9654\% \textit{ seca}$$

$$100 - 30.9654 = \mathbf{49,03\% \textit{ humedad}}$$

ABONO COMPOSICIÓN b2701B

$$\frac{62.6446g - 60.8923g}{5.1938g} \times 100 = 33.7383\% \textit{ seca}$$

$$100 - 33.7383 = \mathbf{46,26\% \textit{ humedad}}$$

ABONO COMPOSICIÓN b2701C

$$\frac{47.9759g - 46.1876g}{5.3581g} \times 100 = 33.3756\% \textit{ seca}$$

$$100 - 33.3756 = \mathbf{46,62\% \textit{ humedad}}$$

Tabla 4-3: Determinación de pH:

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TÉCNICA |
|---|---|--|
| Esta técnica permite la determinación del pH inicial de la materia prima utilizada en el compostaje | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Vaso de precipitación • Probeta • Varilla de agitación | <p>PLANTA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Triturar las hojas de mora secas al ambiente hasta tener una granulometría similar al polvo. |

| | | |
|--|--|--|
| | | <ol style="list-style-type: none"> 2. Pesar 5 gr de muestra en un vaso de precipitación 3. Con una probeta adicionar 50 ml de agua destilada 4. Agitar bien la muestra y dejarla en reposo por 30 minutos. 5. Colocar el electrodo en la muestra y proceder a la lectura del mismo. <p style="text-align: center;">ESTIÉRCOL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Triturar el estiércol seco al ambiente hasta tener una granulometría similar al polvo. 2. Pesar 5 gr de muestra en un vaso de precipitación 3. Con una probeta adicionar 50 ml de agua destilada 4. Agitar bien la muestra y dejarla en reposo por 30 minutos. 5. Colocar el electrodo en la muestra y proceder a la lectura del mismo. |
|--|--|--|

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 5-3: Determinación de conductividad eléctrica:

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TÉCNICA |
|---|---|---|
| <p>Esta técnica permite la determinación de la CE y saber si la muestra contiene sales minerales.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Vaso de precipitación • Probeta • Varilla de agitación | <p>PLANTA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Triturar las hojas de mora secas al ambiente hasta tener una granulometría similar al polvo. 2. Pesar 5 gr de muestra en un vaso de precipitación 3. Con una probeta adicionar 50 ml de agua destilada 4. Agitar bien la muestra y dejarla en reposo por 30 minutos. 5. Colocar el electrodo en la muestra y proceder a la lectura del mismo. <p>ESTIÉRCOL</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Triturar el estiércol seco al ambiente hasta tener una granulometría similar al polvo. 2. Pesar 5 gr de muestra en un vaso de precipitación 3. Con una probeta adicionar 50 ml de agua destilada |

| | | |
|--|--|---|
| | | <ol style="list-style-type: none"> 4. Agitar bien la muestra y dejarla en reposo por 30 minutos. 5. Colocar el electrodo en la muestra y proceder a la lectura del mismo. |
|--|--|---|

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 6-3: Determinación de carbono orgánico total:

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TÉCNICA |
|--|--|---|
| La técnica para la determinación de carbono orgánico total en sustancias orgánicas como suelos, aguas o plantas. | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Tubos de ensayo de 100 ml con aforamiento. • Equipo digestor de suelos • Pipetas • Pera de succión • Espectrofotómetro uv/visible | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pesarse el tubo de 100 ml en la balanza analítica y tarar. 2. Pesarse 0,25 gr de la muestra previamente seca al ambiente. 3. Colocar en una gradilla el tubo de ensayo, agregar 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ y 5 ml de H_2SO_4. 4. Colocar los tubos de ensayo en el bloque de digestión y calentar durante 30 minutos. 5. Dejar que se enfríen las muestras, aforar a 50 ml con solución de $BaCl_2$, agitar bien y dejar en reposo por 12 horas. |

| | | |
|--|--|---|
| | | 6. Tomar 30 ml de la muestra sin agitar en un vaso de precipitación y proceder a la lectura en el Espectrofotómetro uv/visible. |
|--|--|---|

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

DETERMINACIÓN FOTOMÉTRICA

Carbono orgánico total

Los resultados ya salen en %C en el protocolo del fotómetro.

Sustancia Orgánica (a partir de C_{org}):

$$SO[\%] = \%C * 1,724$$

Tabla 7-3: Fósforo disponible-fosfatos:

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TÉCNICA |
|--|--|--|
| La técnica para la determinación de fosfatos es una determinación colorimétrica de fosfatos en base del complejo azul de molibdeno aplicable en plantas, suelos y aguas. | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • crisol • Pinzas • Desecador • Mufla • Pipetas • Vaso de precipitación • Pera de succión • Balón de aforo de 100 ml • Embudo • Papel filtro | <p>SUELOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar de 2,45g a 2,55 g de muestra seca al ambiente en un vaso de precipitación. 2. Adicionar con la pipeta 50 ml de bicarbonato de sodio 0,5 N. 3. Mezclar la suspensión bien y dejar en reposo por |

| | | |
|--|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Baño maría • Espectrofotómetro uv/visible | <p>30 minutos y filtrar con papel filtro.</p> <p>4. En una gradilla colocar tubos de ensayo etiquetados blanco y código de la muestra correspondiente.</p> <p>5. Adicionar en el tubo blanco 5 ml de bicarbonato de sodio 10 ml de ácido ascórbico y 2 ml de solución sulfo-molíbdica y de igual forma en otro tubo 5 ml de la muestra con los reactivos correspondientes antes mencionados con excepción del bicarbonato de sodio.</p> <p>6. Agitar los tubos y poner a baño maría a 70°C por 15 minutos. Luego dejar enfriar las muestras en agua helada por 5 minutos aproximadamente y proceder a la determinación en el Espectrofotómetro uv/visible</p> <p>PLANTAS</p> |
|--|--|---|

| | | |
|--|--|--|
| | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcinación de la muestra: pesar 0,5 g de muestra seca y calcinar en el crisol durante 2 horas a 450°C. 2. Digestión caliente de las cenizas blancas con 25 ml de HNO_3 1N durante media hora hasta que queden aproximadamente 3-5 ml de extracto, utilizando un mechero bunsen. 3. Filtrar por papel filtro (filtración lenta, poros finos dentro de un balón y aforar a 100 ml con a/d.). 4. Realizar la respectiva lectura en el Espectrofotómetro uv/visible. |
|--|--|--|

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 8-3: Cationes intercambiables-K-macroelementos:

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TÉCNICA |
|--|---|---|
| La técnica para la determinación de cationes intercambiables permite determinar macro elementos como-Ca, Mg, K, Na, en suelos y plantas. | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • crisol • Pinzas • Desecador • Vaso de precipitación • Embudo | <p>SUELOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar en un vaso de precipitación 5 g de muestra del estiércol seco al aire, anotando |

| | | |
|--|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Papel filtro • Mufla • Pipetas • Pera de succión • Balón de aforo de 100 ml • Espectrofotómetro de absorción atómica | <p>el valor pesado de muestra.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Agregar con una pipeta 50 ml de amonio acetato 1N. 3. Revolver y dejar en reposo hasta el otro día. 4. Filtrar a través de papel filtro. 5. Proceder a la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica. <p>PLANTAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcinación de la muestra: pesar 0,5 g de muestra seca y calcinar en el crisol durante 2 horas a 450°C. 2. Digestión caliente de las cenizas blancas con 25 ml de HNO_3 1N durante media hora hasta que queden aproximadamente 3-5 ml de extracto, utilizando un mechero bunsen. 3. Filtrar por papel filtro (filtración lenta, poros finos dentro de |
|--|---|--|

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>un balón y aforar a 100 ml con a/d.).</p> <p>4. Realizar la respectiva lectura en el Espectrofotómetro de absorción atómica.</p> |
|--|--|---|

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 9-3: Nitrógeno total-proteína bruta (Según Kjeldahl):

| NITRÓGENO TOTAL | |
|--|--|
| FUNDAMENTO | MATERIALES |
| La técnica para la determinación de cationes intercambiables permite determinar macro elementos como-Ca, Mg, K, Na, en suelos y plantas. | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • crisol • Pinzas • Desecador |
| TÉCNICA | |
| <p>SUELOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar aproximadamente 1g de muestra de suelo en los tubos de digestión. 2. Incluir en cada serie dos blancos (contienen todos los reactivos, pero ninguna muestra) y para suelos el estándar interno del laboratorio (s265) por duplicado. <p>PLANTAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Secar las muestras por 12 horas a 105°C, luego dejar enfriar en el desecador. 2. Pesar 1g de muestra en los tubos de digestión. Incluir en cada serie dos blancos. <p>DIGESTIÓN (IGUAL PARA MUESTRAS DE SUELOS Y DE PLANTAS)</p> <p>Añadir a las muestras pesadas pesadas en los tubos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 ml de H₂SO₄ conc. • Una puntita de mezcla reactiva de selenio. <p>Colocar los tubos en el bloque de digestión, prender el ventilador y la bomba del sistema de lavado de vapores, cerrar la ventana de la campana química.</p> <p>Regular la temperatura en el termostato y programar el regulador con una temperatura de 150°C por un tiempo de 30 minutos.</p> <p>Cuando timbre, apagar y programar el regulador de temperatura nuevamente con temperatura de 375°C por un tiempo de 4 horas. Las muestras están bien digeridas cuando el líquido esté claro (aunque esté coloreado).</p> | |

DESTILACIÓN:

Preparación del equipo

- Abrir la llave de agua; meter la manguera blanca en el recipiente con NaOH (33%), prender el equipo, llenar el balón de agua del equipo hasta 2/3 y esperar hasta que hierva el agua en el balón.
- Traspasar el contenido del tubo de digestión a un tubo de destilación. Enjuagar el tubo de digestión a un tubo de destilación. Enjuagar el tubo de digestión 2-3 veces con agua destilada y pasar todo al tubo de destilación. Colocar el tubo en el equipo.
- Si el contenido de un tubo se ha secado completamente durante la digestión: disolver el residuo en 10 ml de H₂SO₄ conc. (15 min)
- Medir 10 ml de H₃BO₃ en un balón de titulación.
- Colocar el balón en el equipo de tal manera que la punta de la manguera quede sumergida en el ácido bórico.
- Cuando hierva el agua en el respectivo balón del equipo, conectar la muestra con el balón de titulación.
- Poner la palanca en destillation y esperar que salgan burbujas con fuerza.
- Destilar hasta que el contenido del balón de titulación se vuelva verde.
- Controlar mediante cronómetro por un tiempo de 7 minutos.
- Sacar la punta de la manguera de la solución en el balón de titulación y enjuagarla con un chorrito de agua(pisceta).
- Sacar el balón de titulación del equipo de destilación y proceder a la titulación de la muestra.
- Poner la placa en STANDBY, sacar el tubo de destilación y echar el contenido al fregadero.
- Llenar el balón de agua hasta 2/3 (FILL), después STANDBY hasta que hierva el agua otra vez
- Después de la última muestra:

Sacar la manguera del NaOH y meterla en un galón de agua destilada, conectar un tubo de destilación vacío; mediante el botón amarillo, llenar el tubo hasta 3/4, sacarlo y dejar todas las partes del equipo limpias y secas.

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Fórmula para los cálculos correspondientes

EN SUELOS

$$\%N = \frac{(ml\ HCl_{muestra} - mlHCl_{blanco}) \times 1,4}{g\ muestra \times (\%_{substancia\ seca}_{muestra})}$$

EN PLANTAS

$$\%proteína = \frac{(mlHCl_{muestra} - mlHCl_{blanco}) \times 0,875}{g_{muestra}}$$

Asumiendo que las proteínas tienen un contenido medio de 16% de nitrógeno; calcular nitrógeno dividiendo el %proteína entre el factor de 6,25.

$$\%N = \frac{\%proteína}{6,25}$$

3.10 Desarrollo experimental del proceso:

Una vez realizado los respectivos análisis físico-químicos al material orgánico de partida se procedieron al desarrollo experimental del compostaje mediante 3 composiciones que se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 10-3: Materiales utilizados:

| MATERIALES UTILIZADOS | |
|------------------------------|--|
| • Estiércol de cuy | Materia prima para la obtención del compost. |
| • Hojas de planta de mora | Materia prima para la obtención del compost. |
| • Tablas de madera | Utilizadas para la formación de pilas para la descomposición de la materia orgánica. |
| • Pala | Para el mezclado homogéneo de toda la materia prima. |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 11-3: Construcción de la compostera para el proceso de compostaje experimental:

| CONSTRUCCIÓN DE LA COMPOSTERA | |
|---|---|
| • 18 tiras de madera de 280 cm de largo x 7 cm de ancho | Empleadas en la construcción de las 3 composteras. |
| • 2 libras de clavos | Utilizada para juntar las tiras de madera. |
| • Tubo de 2 pulgadas pvc | Empleado para brindar aireación a la mezcla desde el centro de la compostera. |
| • Saquillo | Para conservar parte de la humedad en la parte inferior de la compostera. |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 12-3: Preparación de cultivo de microorganismos de montaña en medio sólido(mms):

| PREPARACIÓN DE CULTIVO DE MICROORGANISMOS DE MONTAÑA EN MEDIO SÓLIDO(MMS) | |
|--|--|
| • Tanque plástico de 200 Litros | Para el almacenamiento de la mezcla para el cultivo de MM. |
| • Plástico negro | Para tapar la superficie del tanque. |
| • Banda de caucho | Para el sellado hermético del tanque. |
| • 1 pala | Para el mezclado homogéneo de la materia. |
| • 1 caneca de melaza de caña de azúcar | Azúcar como energía. |
| • 1 quintal de harina de maíz | Carbohidrato como sustrato y energía para el desarrollo de los microorganismos de montaña, |
| • 1 ½ quintal de hojarasca con microorganismos de montaña (MM) | Inoculo de microorganismos necesarios para su cultivo. |
| • Agua sin cloro | Brinda humedad a la mezcla permitiendo el desarrollo de los microorganismos. |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.10.1 Diagrama de flujo cultivo de microorganismos de montaña en medio sólido(mms)

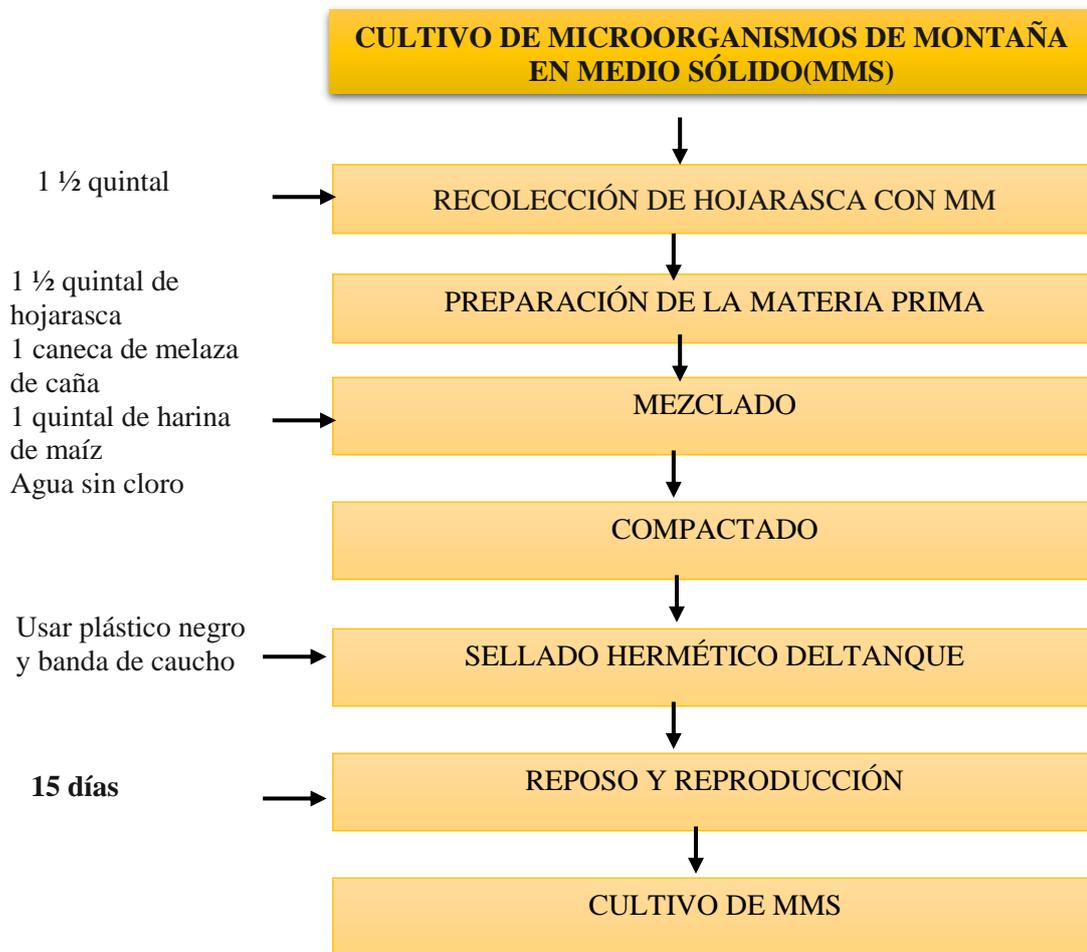


Figura 6-3. Diagrama de flujo cultivo de microorganismos de montaña en medio sólido(mms).

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.10.2 Diagrama de flujo de preparación de pilas para la obtención de compost

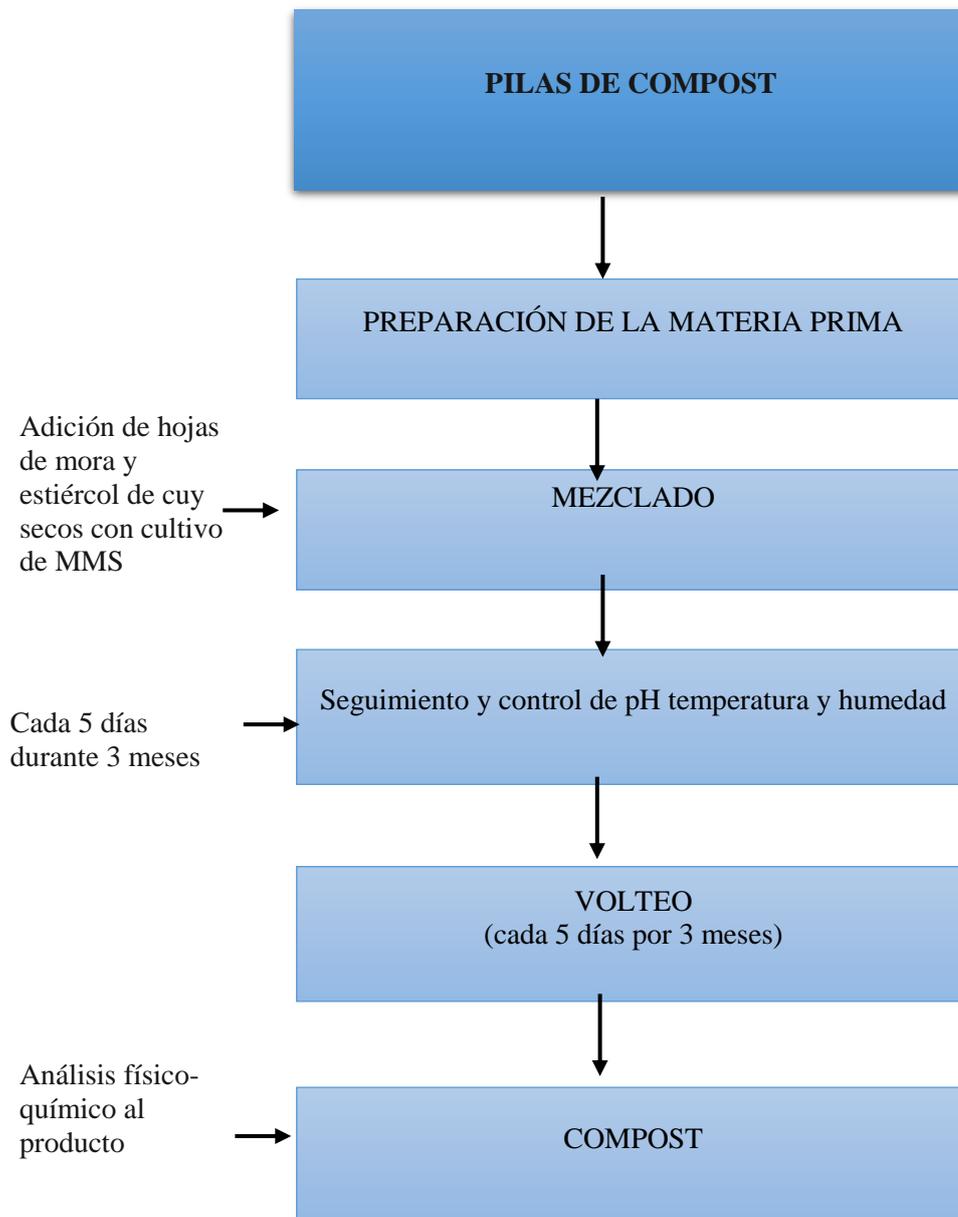


Figura 7-3. Diagrama de flujo de preparación de pilas para la obtención de compost.

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.11 Control del proceso experimental de compostaje

La materia orgánica utilizada para el compostaje fue sometida a un análisis físico-químico elemental en LABSU (Laboratorio de suelos, plantas y aguas) para realizar cada una de las respectivas composiciones para el proceso de compostaje, como se puede observar en la Tabla 13-3:

Tabla 13-3: Resultados de los análisis físico-químicos de las materias primas:

| PARÁMETRO MEDIDO | MATERIA ORGÁNICA PRIMA UTILIZADA | | |
|------------------------------------|---|-------------------------------|--|
| | HOJAS DE MORA b2667 | ESTIÉRCOL DE CUY b2666 | MMS(MICROORGANISMOS DE MONTAÑA EN MEDIO SÓLIDO) b2707 |
| Nitrógeno Total NT (%) | 1,15 | 1,13 | 0,64 |
| Materia Orgánica (%) | 23,08 | 22,66 | 12,90 |
| Carbono Orgánico (%) | 13,39 | 13,12 | 7,48 |
| Fósforo PO4(%) | 0,06 | 0,30 | 0,20 |
| Potasio K (%) | 0,07 | 0,80 | 0,40 |
| Humedad (%) | 45,51 | 33,12 | 47,56 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 5,27 | 9,12 | 3,94 |
| Conductividad (ms/cm) | 3,19 | 4,54 | 7,54 |

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.11.1 Cálculo de la relación C/N de la materia prima utilizada

Con los resultados obtenidos de los análisis respectivos se procedió a realizar el cálculo de la relación C/N para determinar el rango óptimo de partida para cada composición.

Hoja de mora

%C=13.39

%N=1.15

$$\frac{C}{N}$$

$$\frac{13.39}{1.15} = 11.64$$

Estiércol de cuy

%C=13.12

%N=1.13

$$\frac{13.12}{1.13} = 11.61$$

MMS (microorganismo de montaña en medio sólido)

%C=7.48

%N=0.64

$$\frac{7.48}{0.64} = 11.69$$

3.11.2 Composición de mezclas experimentales utilizadas para obtención del compost:

Para el proceso de compostaje experimental se prepararon 3 composiciones diferentes de mezclas de los residuos orgánicos, las que difieren en cuanto al peso utilizado de cada componente como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 14-3: Composición de materia orgánica para cada compostera:

| COMPOSTERA | PORCENTAJE DE COMPOSICIÓN |
|------------|--|
| A | 12.473 Kg estiércol de cuy 1.524 Kg hojas de mora 4.762 Kg MMS |
| B | 9.979 Kg estiércol de cuy 1.524 Kg hojas de mora 12.70 Kg MMS |
| C | 12.473 Kg estiércol de cuy 3.048 Kg hojas de mora |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.11.3 Control y seguimiento rutinario del proceso de compostaje

Se controlaron los parámetros de temperatura, pH y humedad con ayuda del instrumento 4 en 1 para estudios de suelo durante todo el proceso de compostaje cada 5 días en cada una de las etapas de compostaje durante 3 meses. Mediante el registro de los datos de cada uno de los parámetros se pudo evidenciar el avance de cada una de las etapas de compostaje. Respecto a la buena aireación y humedad de cada una de las composteras, el volteo y humectación de la materia orgánica de cada una de estas se realizó cada 5 días de forma conjunta con la toma de datos de los parámetros antes mencionados, haciendo uso de una pala y agua de lluvia esto debido a que en Puerto de Francisco de Orellana la temperatura ambiente llegaba en ocasiones hasta 37°C, ayudando así a mantener composteras con buena humedad y aireación.

Tabla 15-3: Materiales y equipos para el medición y registro de datos:

| MATERIALES | EQUIPOS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Guantes quirúrgicos• Pala• Balde plástico• Agua lluvia | <ul style="list-style-type: none">• Instrumento (pH, humedad, temperatura y luminosidad)4 en 1 para estudios de suelo |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

3.11.4 Registro y tabulación de datos del control de variables en el proceso de compostaje

El proceso de compostaje se dio por finalizado el día 11 de octubre del 2020 al haber transcurrido los 3 meses recomendados para obtener un compost maduro y de buena calidad, teniendo como resultados los siguientes valores del seguimiento de cada una de las composteras que nos permitirán conocer la evolución de las variables de temperatura y pH en cada una de las fases.

Tabla 16-3: Datos de medición de temperatura:

| TEMPERATURA DÍA | TEMPERATURA °C | | |
|--------------------|----------------|----|----|
| | A | B | C |
| 11/07/2020 | 18 | 18 | 18 |
| 13/07/2020 | 39 | 43 | 29 |
| 15/07/2020 | 30 | 31 | 29 |
| 19/07/2020 | 29 | 30 | 32 |
| 23/07/2020 | 28 | 27 | 30 |
| 27/07/2020 | 27 | 27 | 29 |
| 31/07/2020 | 26 | 26 | 26 |
| 4/08/2020 | 25 | 26 | 27 |
| 8/08/2020 | 26 | 26 | 26 |
| 12/08/2020 | 27 | 27 | 28 |
| 16/08/2020 | 28 | 28 | 28 |
| 20/08/2020 | 30 | 30 | 30 |
| 24/08/2020 | 29 | 28 | 27 |
| 28/08/2020 | 30 | 29 | 29 |
| 1/09/2020 | 28 | 28 | 28 |
| 5/09/2020 | 29 | 30 | 28 |
| 9/09/2020 | 31 | 30 | 29 |
| 14/09/2020 | 29 | 30 | 30 |
| 18/09/2020 | 27 | 28 | 29 |
| 22/09/2020 | 28 | 29 | 29 |
| 26/09/2020 | 30 | 30 | 30 |
| 30/09/2020 | 29 | 28 | 29 |
| 4/10/2020 | 29 | 30 | 30 |
| 8/10/2020 | 29 | 29 | 29 |
| 11/10/2020 | 30 | 30 | 30 |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

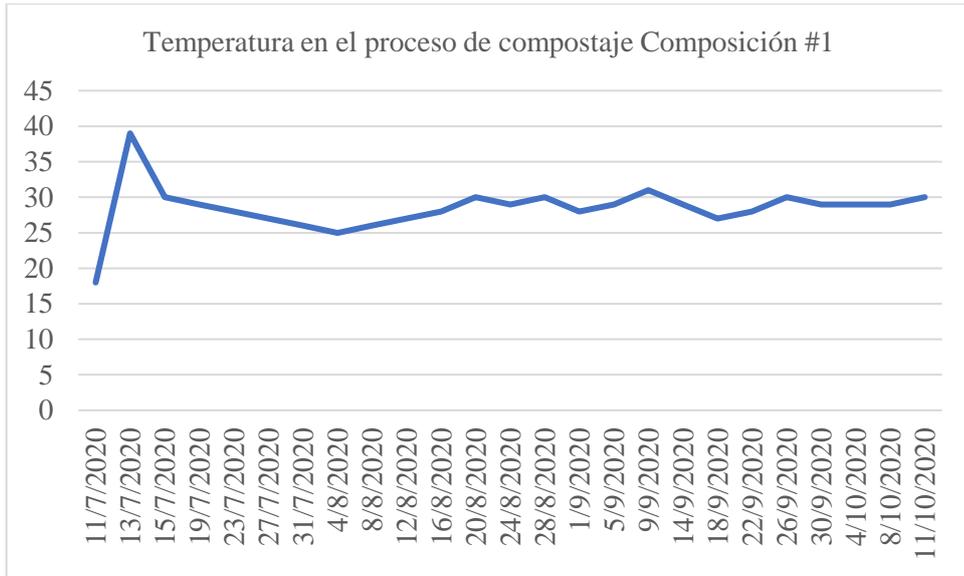


Gráfico 1-3: Curva de temperatura del compostaje composición #1

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

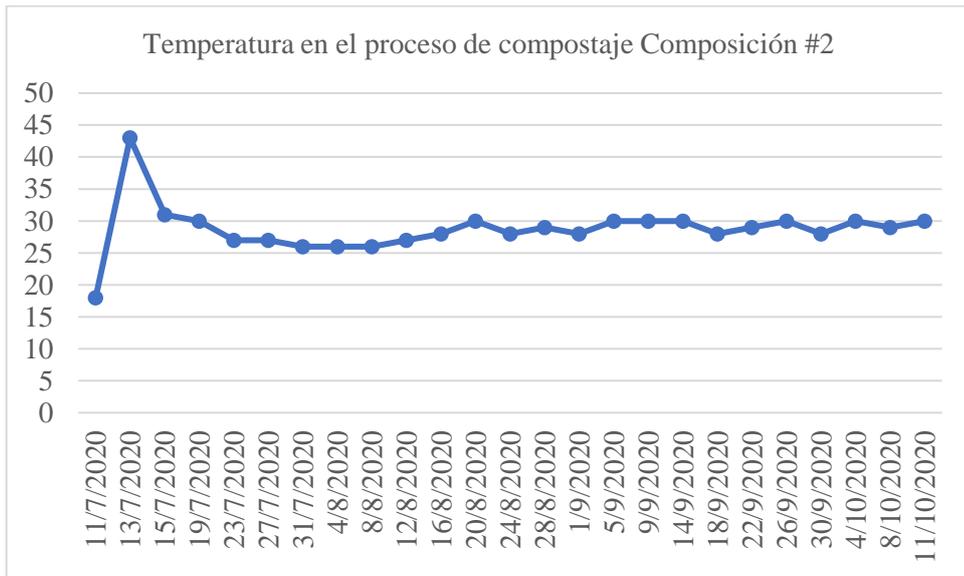


Gráfico 2-3: Curva de temperatura del compostaje composición #2

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

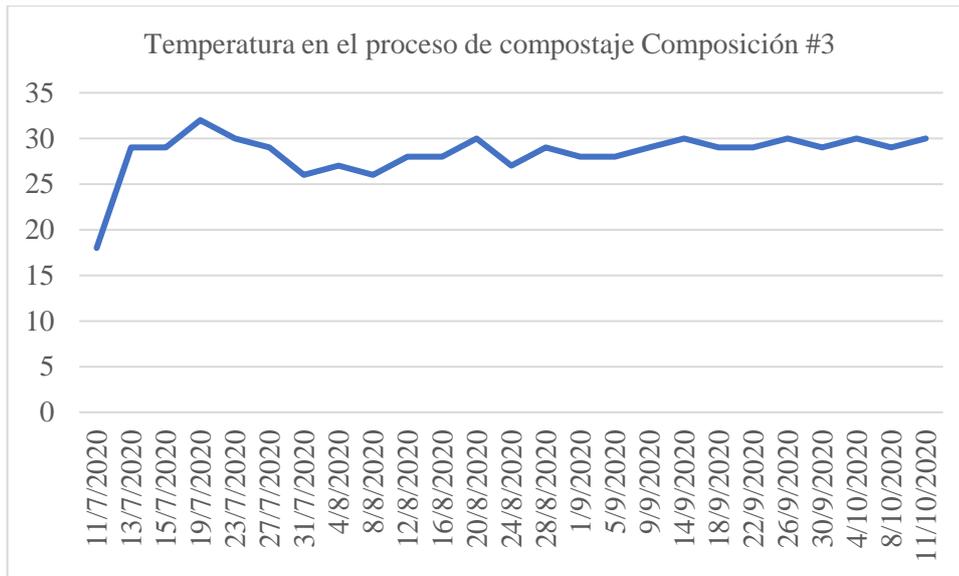


Gráfico 3-3: Curva de temperatura del compostaje composición #3

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

Tabla 17-3: Datos de medición de pH:

| pH DÍA | COMPOSICIÓN | | |
|------------|-------------|-----|-----|
| | A | B | C |
| 11/07/2020 | 4 | 5 | 7 |
| 13/07/2020 | 4 | 5 | 7 |
| 15/07/2020 | 6.5 | 6.0 | 7 |
| 19/07/2020 | 6.0 | 7.0 | 7.5 |
| 23/07/2020 | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| 27/07/2020 | 7.5 | 7 | 7.5 |
| 31/07/2020 | 7 | 7 | 8 |
| 4/08/2020 | 7 | 7 | 7 |
| 8/08/2020 | 7.5 | 7 | 7.5 |
| 12/08/2020 | 7 | 7 | 7.5 |
| 16/08/2020 | 7 | 7.5 | 7.5 |
| 20/08/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 24/08/2020 | 7 | 7.5 | 7.5 |
| 28/08/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 1/09/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 5/09/2020 | 7 | 7.5 | 7 |
| 9/09/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |

| | | | |
|------------|------|------|------|
| 14/09/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 18/09/2020 | 7 | 7.5 | 7.5 |
| 22/09/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 26/09/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 30/09/2020 | 7 | 7.5 | 7.5 |
| 4/10/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 8/10/2020 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 11/10/2020 | 8.67 | 8.55 | 8.76 |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

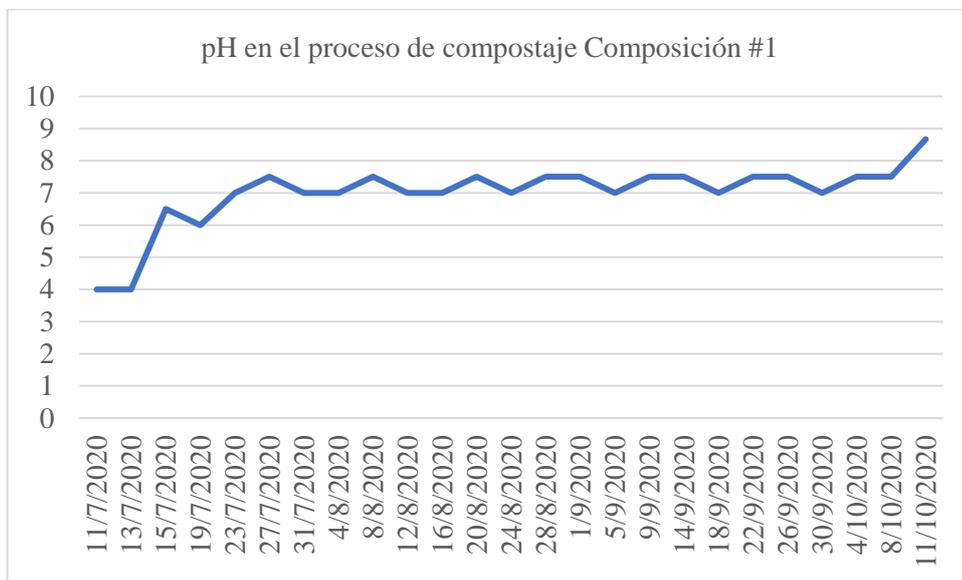


Gráfico 4-3: Curva de pH en proceso de compostaje composición #1

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

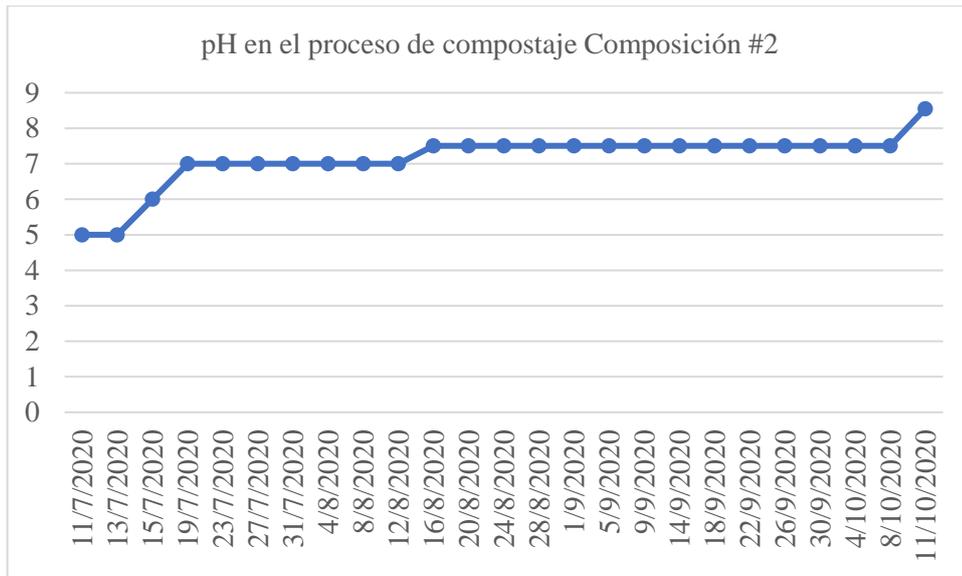


Gráfico 5-3: Curva de pH en proceso de compostaje composición #2

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

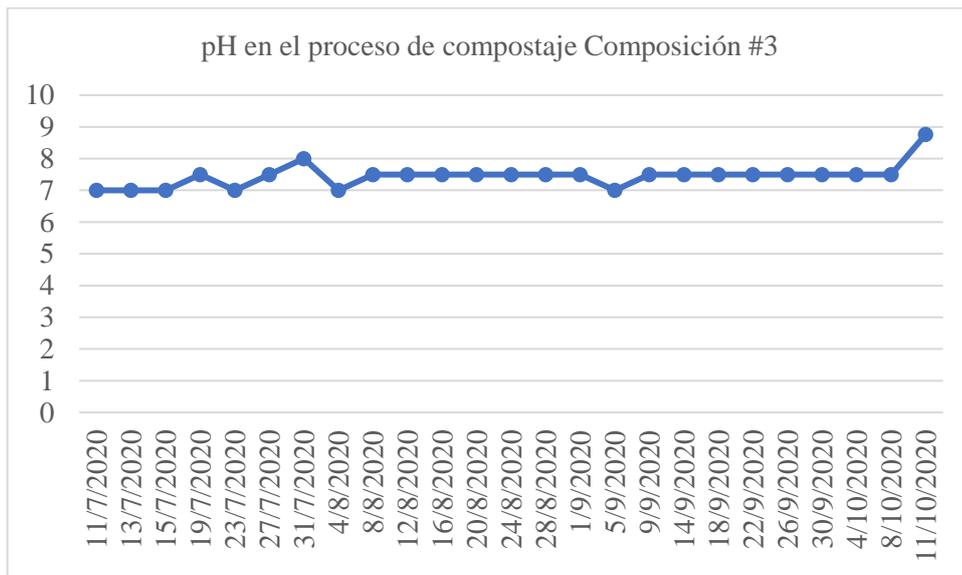


Gráfico 6-3: Curva de pH en proceso de compostaje composición #3

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Registro del compost obtenido al finalizar el compostaje

Luego de transcurrir el tiempo de 3 meses establecido para el proceso de compostaje se procedió a pesar el abono obtenido de cada compostera.

Tabla 18-4: Cantidad de compost obtenido al finalizar el proceso de compostaje:

| COMPOSTERA | CANTIDAD |
|------------|------------|
| A | 10.4264 Kg |
| B | 14.3738 Kg |
| C | 11.5517 Kg |

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

4.2 Caracterización del compost obtenido

Para la caracterización respectiva del abono se tomó 1 muestra representativa de cada compostera, las cuales fueron analizadas en el laboratorio LABSU obteniendo los siguientes datos:

Tabla 19-4: Resultados de análisis del compost obtenido en el proceso experimental:

| PARÁMETRO MEDIDO | COMPOST MUESTRA A b2701A | COMPOST MUESTRA B b2701B | COMPOST MUESTRA C b2701C |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Materia Orgánica (%) | 15,05 | 16,09 | 14,36 |
| Nitrógeno Total NT (%) | 0,75 | 0,80 | 0,72 |
| Carbono Orgánico (%) | 8,73 | 9,33 | 8,33 |

| | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Fósforo PO4 (%) | 0,23 | 0,43 | 0,37 |
| Potasio K (%) | 0,55 | 0,36 | 0,49 |
| Humedad (%) | 49,03 | 46,26 | 46,62 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 8,67 | 8,55 | 8,76 |
| Conductividad (ms/cm) | 7,71 | 7,40 | 7,91 |

Fuente: LABSU, 2020

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

4.3 Cálculo de la relación C/N del compost obtenido

Con los resultados obtenidos de los respectivos análisis, se procedió a determinar la relación C/N de cada una de las muestras de compost, para poder determinar si se encuentra dentro de los rangos establecidos de acuerdo a la recopilación bibliográfica y saber su calidad.

Composición A

%C=8.73

%N=0.75

$$\frac{C}{N}$$

$$\frac{8.73}{0.75} = 11.64$$

Composición B

%C=9.33

%N=0.80

$$\frac{9.33}{0.80} = 11.66$$

Composición C

$$\%C=8.33$$

$$\%N=0.72$$

$$\frac{8.33}{0.72} = 11.57$$

4.4 Diseño de una compostera cilíndrica rotativa

En base al proceso de compostaje experimental realizado para la obtención del compost orgánico, se procede a realizar el respectivo diseño del equipo que servirá para la obtención del mismo. Para el diseño del mismo se ha tomado en cuenta los siguientes factores:

- Reactor en sistema cerrado horizontal: por su adaptación flexible en cuanto a su estructura de acuerdo a las necesidades, costos de construcción y mantenimiento.
- Discontinuo: de acuerdo a información bibliográfica y a la experimentación realizada, no es conveniente agregar materia fresca o distinta a la detallada una vez cargado el equipo, puesto que esta afectara al tiempo de descomposición establecido y a su vez alterando la composición del producto final.
- Humedad dentro del equipo: la experimentación se realizó en la ciudad de Puerto Francisco de Orellana que alcanza temperaturas promedio de 30 a 36°C durante el día, a diferencia de la ciudad de Riobamba q oscila entre los 17 a 22°C.

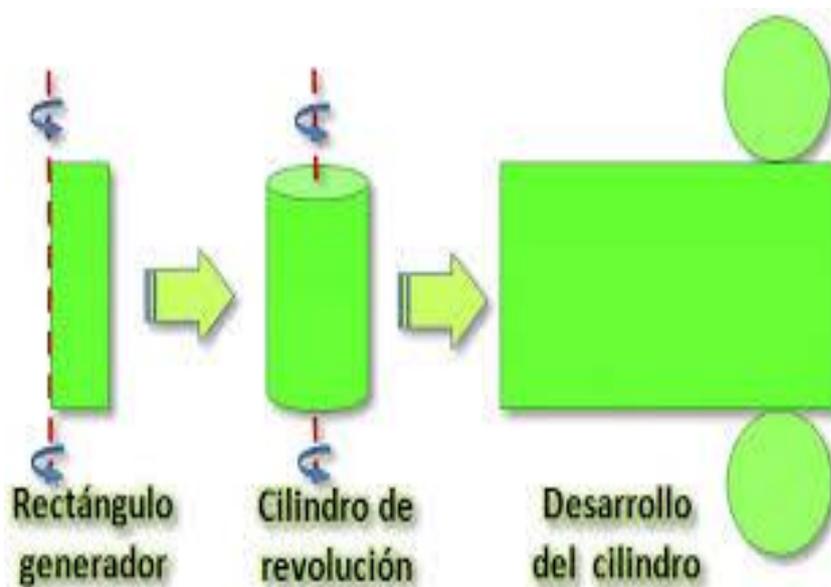


Figura 8-4. Concepción de la estructura cilíndrica de la compostera.

Realizado por: Cossío, Manuel. 2018

Elementos del Cilindro

- Bases: dos círculos iguales y paralelos.
- Superficie lateral: la cara lateral no plana, cuyo desarrollo es un rectángulo.
- Eje: el lado fijo del rectángulo que, al girar sobre sí mismo, engendra al cilindro.
- Radio: el radio de las bases.
- Altura: distancia entre las dos bases

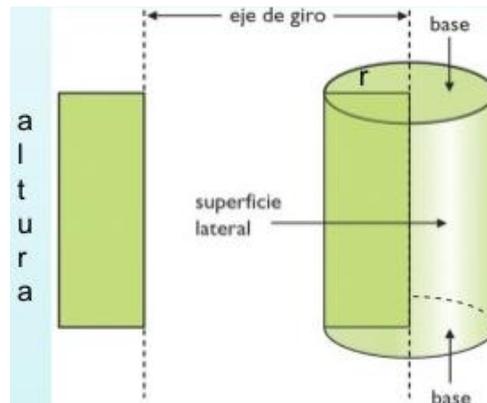


Figura 9-4. Elementos básicos de la estructura de un cilindro.

Realizado por: Cossío, Manuel. 2018



Figura 10-4. Cilindro de la compostadora.

Realizado por: Coyachamín, Jefferson. 2020

4.5 Dimensionamiento del equipo con capacidad del cilindro de 578.5 litros.

El diseño de la compostadora parte de los materiales disponibles en el mercado local, esto es la chapa metálica estándar, misma que, acorde con las características del proceso será acero inoxidable mate, cuyas dimensiones son:

PLANCHA ESTÁNDAR:

Longitud= 244 cm

Ancho = 122 cm

Espesor = 2 mm

Para optimizar el diseño se procede a barolar la plancha entera y se obtiene un cilindro de revolución con las siguientes dimensiones:

Perímetro del cilindro = 244 cm = $2\pi r$.. » $r = 38.85$ cm ..»» $D = 77.71$ cm

En consecuencia, el cilindro tendrá un diámetro de 77.71 cm y una altura (h) de 122 cm

Su volumen es :

VOLUMEN = Área de la base por Altura

VOLUMEN = $\pi r^2 \cdot h = 578484$ cm³ = 578.5 dm³ = 578.5 litros

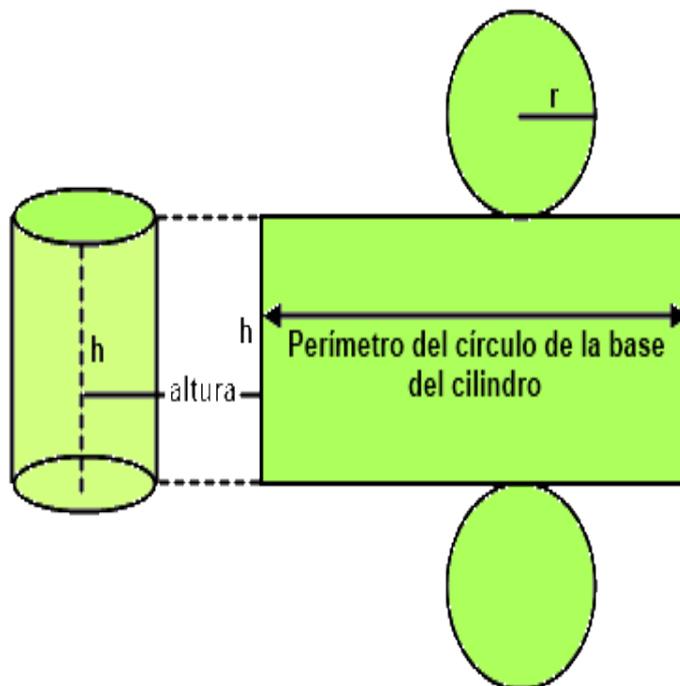


Figura 11-4. Estructura básica del diseño del cilindro.

Realizado por: Cossío, Manuel. 2018

Este cilindro descansará sobre una cuna soporte, complementada con cuatro ruedas fijas de giro en la parte superior y cuatro llantas de desplazamiento en su parte inferior.

El cilindro tendrá una ventana bisagrada de (30x30) cm en su centro lateral, misma que se utilizará para carga y descarga. De igual manera el cilindro tendrá 20 perforaciones de 16 mm en cada uno de sus extremos laterales que servirán como aireadores del proceso de compostaje.

En la parte interna del cilindro irán atornillados cuatro ángulos distribuidos a 90 grados respecto a las bases para asegurar el volteo uniforme de la carga de compost.

La cuna de soporte estará conformada por tubo cuadrado galvanizado de (50x50x 3)mm y tendrá las siguientes dimensiones:

CUNA SOPORTE:

Longitud= 120 cm

Ancho = 50 cm

Altura = 20 cm

El cilindro girará mediante un motor reductor de un Hp con un I = 60. Con polea y banda tipo B de un solo canal. la banda utilizará como área de contacto la periferia de uno de los extremos del cilindro, cuyo diámetro es 77.71 cm. La polea del motor reductor será de 7.5 cm, para obtener una rotación del cilindro de 2.86 rpm. Esta rotación, necesaria para el volteo y aireación de los materiales de compostaje se recomienda ejecutarla cada 72 horas y por un tiempo de 10 minutos.

4.6 Construcción, montaje y costos de la compostera cilíndrica rotativa

Para empezar la construcción es necesario establecer la lista de materiales requeridos, bajo la premisa de optimizar el costo tanto en la adquisición como en el maquinado.

Materiales requeridos:

1. Moto reductor 1 Hp. I 60 30 rpm
2. Plancha de acero inoxidable mate, 2mm de espesor
3. Tubo galvanizado de (50x50x3) mm
4. Angulo galvanizado de (75x5) mm
5. Cuatro llantas de giro y desplazamiento de 100mm
6. Banda tipo B de 100 pulgadas
7. Dos bisagras
8. Tres metros de cable eléctrico numero 12
9. Un enchufe.
10. Una botonera de 20 amperios

Todos los materiales existen en el mercado local.

Tabla 20-4: Costo de materiales para la construcción de la compostera.

| N | DENOMINACIÓN | COSTO |
|----|---|---------------|
| 1 | Motor reductor 1 Hp. I 60-30 rpm | 430.00 |
| 2 | Dos Planchas de acero inoxidable mate, 2mm de espesor | 330.00 |
| 3 | Tubo galvanizado de (50x50x3) mm | 43.00 |
| 4 | Angulo galvanizado de (75x5) mm | 32.00 |
| 5 | Cuatro llantas de giro y desplazamiento de 100mm | 32.00 |
| 6 | Banda tipo B de 100 pulgadas | 10.00 |
| 7 | Dos bisagras | 2.00 |
| 8 | Tres metros de cable eléctrico numero 12 | 3.00 |
| 9 | Un enchufe. | 2.00 |
| 10 | Una botonera de 20 amperios | 15.00 |
| | TOTAL | USD 899.00 |
| | | |

Realizado por: Coyachamín Chilingua, Jefferson, 2020

El costo de la barolada, corte y soldadura de los elementos constitutivos, oscila los 200\$, mismo que hay que agregar al costo total del equipo.

4.7 Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos de las muestras de compost según la norma chilena NCh2880 el compost es de clase A ya que la relación C/N está dentro del rango de 10 a 20. En cuanto al pH se obtuvo valores para la composición A=8,67; B=8,55 y C=8,76, según (FAO, 2003, pp-31), el pH para un compost maduro se encuentra entre el rango ideal 6,5-8,5; de igual forma la humedad requerida para el proceso de compostaje debe encontrarse entre un 50% y 70% ya que de esta dependerá las actividades biológicas en los residuos orgánicos por parte de los microorganismo descomponedores de acuerdo a (Tipán, 2016, pp-35), recomienda que el control de la humedad se la pueda realizar mediante la prueba del puño cerrado, que consiste en tomar una pequeña muestra con la mano del material orgánico y se la aprieta de manera que del material empiece a caer gotas de agua lo que indica que existe una buena humedad, el exceso >70% de humedad provoca la disminución de la temperatura de la pila de compost e interfiere en la oxigenación del material generando malos olores y una deficiente humedad menor al 12% disminuye las actividades microbiológicas. En cuanto al tiempo de compostaje se estableció 3 meses como mínimo esto debido a la curva de evolución de pH, temperatura de las fases de (FAO, 2003, pp-25), que establece un tiempo estimado de 3 a 6 meses para que ocurran las reacciones de estabilización e higienización en el compost. La temperatura inicial del proceso de compostaje fue de 18°C hasta elevarse entre con un valor de 29 y 43 °C de acuerdo a cada composición en donde va descendiendo de poco a poco hasta estabilizarse en 30°C, cabe recalcar que la curva de evolución de las fases del compostaje de (FAO, 2003, pp-25), se encuentra elaborada en base a datos de compostaje con residuos orgánicos de estiércol vacuno y porcino los cuales poseen un alto contenido de C y N que permiten alcanzar temperaturas elevadas durante el compostaje estableciendo así valores estimados de 15 a 20°C para la temperatura inicial y la máxima entre 45- 60°C disminuyendo de apoco hasta permanecer constante.

CONCLUSIONES

- Las variables obtenidas para el diseño del biorreactor son las siguientes: temperatura de partida 18°C para las 3 composiciones con una temperatura promedio final de estabilización del proceso de 30 °C, pH final para la composición A= 8,67; composición B=8,55; composición C=8,76; monitoreo y control de humedad y aireación cada 5 días para garantizar las condiciones adecuadas para el buen desarrollo de las actividades de los microorganismos descomponedores en cada una de las fases del compostaje.
- Los cálculos realizados para el diseño y dimensionamiento del biorreactor para obtener compost orgánico a partir de hojas de mora y estiércol de cuy, se basaron en una estructura de tipo cerrado horizontal discontinuo, el cual tiene un cilindro de capacidad de 578.5 L de acero inoxidable con las siguientes dimensiones: longitud=244 cm, ancho=122 cm y espesor= 2 mm; con 20 perforaciones de 16mm para el paso de aire al interior del contenedor(cilindro), este se ubicará sobre una cuna de soporte de dimensiones: longitud= 120 cm, ancho=50 cm y una altura de 20 cm con 4 ruedas que permitirán el volteo uniforme de la carga del material orgánico, que girará con ayuda de un motor de un HP con un I = 60-30 rpm con polea y banda tipo B de un solo canal, de este modo permitiendo una aireación y humectación homogénea de la mezcla contenida al interior del cilindro del equipo.
- Mediante los resultados obtenidos en el análisis físico-químico de los residuos sólidos orgánicos se pudo obtener lo siguiente: relación C/N para las hojas de mora 11,64; estiércol de cuy 11,61; microorganismo de montaña 11,69, pudiendo evidenciar que el material orgánico de partida es de buena calidad y no necesita adición de algún otro material distinto al especificado en cada composición, para estar dentro del rango óptimo de partida conforme la relación C/N.
- En cuanto a la relación C/N del compost final, los resultados obtenidos de los análisis para las composiciones: A: C/N =11,64; B: C/N=11,66; C: C/N=11,57; de acuerdo a la norma chilena NCh2880 del Instituto Nacional de Normalización se encuentran dentro de los estándares de calidad para compost de clase A, teniendo como resultado que las 3 composiciones realizadas se encuentran dentro del rango ideal para ser un producto de buena calidad.

- Los resultados de los análisis de macro nutrientes primarios P, K, N y C en las muestras de compost obtenido para cada composición se obtuvieron en A= C:8,73%; N= 0,75%; P=0,23; K=0,55%; en B= C:9,33%; N= 0,80%; P=0,43%; K=0,36%; y C:8,33%; N= 0,72%; P=0,37%; K=0,49%, se obtuvo un mayor porcentaje en cuanto al contenido de macronutrientes en la composición B, el compost obtenido puede ser utilizado en cultivos de plantas nativas de menor tamaño.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar equipos correctamente calibrados durante la medición de los parámetros respectivos para obtener valores exactos de cada uno de estos durante todo el proceso de compostaje.
- Durante el transcurso del proceso de compostaje no agregar material orgánico diferente al de partida ya que esto no permitirá mantener un control correcto del tiempo de descomposición establecido a su vez afectando a la relación C/N de las composiciones experimentales.
- Para la preparación del inóculo de mms es necesario utilizar agua lluvia o de río de manera ya que así se garantizará el crecimiento de los mismos.
- Se recomienda someter al proceso de secado el compost obtenido para poder almacenarlo y prolongar su vida útil hasta que sea utilizado.

GLOSARIO

Aeróbico: proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.(FAO, 2013)

Anaeróbico: proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.(FAO, 2013)

Compost maduro: compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje. (FAO, 2013)

Compost semimaduro: compost que no ha terminado la etapa termófila del proceso de compostaje. (FAO, 2013)

Compostaje: proceso que lleva tiempo en su desarrollo, utilizado principalmente en la agricultura mediante el apilamiento de residuos orgánicos. (CAJAS, 2018)

Macroorganismos: organismos vivos que pueden ser observados a simple vista (arañas, lombrices, roedores, hormigas, escarabajos, también se denomina meso fauna.(FAO, 2013)

Materia orgánica: residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo. (FAO, 2013)

Microorganismos: organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actino bacterias, protozoos como nematodos etc.).(FAO, 2013)

Relación C/N: cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que posee un material.(FAO, 2013)

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Belén. *Tipos de compost* [blog]. [Consulta: 28 de agosto 2020]. Disponible en: https://docs.google.com/presentation/d/1OwbJ4mmnAXMQT1so-coliAPI6qXlXpuQliePEUKiB8Q/present?includes_info_params=1&eisi=CNPGkp_yiuYCFdUugQodpJsAFA&slide=id.g5c974c03cf_0_81

AMAGUAYO, ALEXANDRA. Evaluación de sedimento de vino de mora y su uso en la elaboración de compost en la empresa Alma Natura de la ciudad de Riobamba. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 13. [Consulta: 29 de agosto del 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4951/1/236T0201.pdf>

CAJAS, SANTIAGO. Diseño de una planta procesadora de compost a partir de rumen vacuno para la empresa VAL-MAR S.C. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 9. [Consulta: 29 de agosto del 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8654/1/96T00456.pdf>

CAMPO A, ACOSTA R, MORALES S & PRADO F. “Beneficios de microorganismos de montaña”. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. [en línea], 2014, (Colombia) 12 (1), pp. 81. [Consulta: 20 de julio del 2020]. ISSN: 1692-3561. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a10.pdf>

COMPOSTADORES. *Organismos que intervienen en el compostaje*. [en línea], 2018, [Consulta: 20 de julio del 2020]. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/biodiversidad-en-mi-compostador/12-organismos-que-intervienen-en-el-compostaje.html>

COSSÍO MANUEL. *Elementos del cilindro*. [en línea], 2018, [Consulta: 20 de julio del 2020]. Disponible en: <http://www.bartolomecossio.com/MATEMATICAS/cilindro.html>

DEFINICION MX. Definición de desechos orgánicos. [en línea] 2014. [Consulta: 20 de julio del 2020]. Disponible en: <https://definicion.mx/?s=Desechos%20Org%C3%A1nicos>

FAO. Manual de compostaje del agricultor. [en línea],2013, [Consulta: 1 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

GARCIA C, LIMA C, GUTIERREZ R & CALDERÓN P. “Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas”. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente [en línea], 2014, (Ecuador), volumen (26), pp.1-11. [Consulta: 27 de julio del 2020]. ISSN 1683-8904. Disponible en: <http://ama.redciencia.cu/articulos/26.03.pdf>

GARRABOU, Ramón. *La fertilización en los sistemas agrarios.* 4 ta ed. Barcelona-España: Gráficas Rogár, 1996. ISBN:84-7774-974-4, pp. 10-35.

INFOAGRO. *Las materias primas del compost.* [en línea], 2018, [Consulta: 1 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

LÓPEZ, PAOLA. Elaboración de compost a partir de cascarilla de cacao. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba-Ecuador. 2013. pp. 12. [Consulta: 29 de agosto del 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2562/1/56T00329.pdf>

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA. *Instructivo de la Normativa ecuatoriana general para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en el Ecuador resolución n° 99.* [en línea], 2013, [Consulta: 1 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu165999.pdf>

MANUAL DE COMPOSTAJE. *Usos del compost.* Madrid-España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino, 2009, pp. 22

NCH2880.2003. *Compost- Clasificación y Requisitos Instituto Nacional de Normalización. Parte 5: Requisitos del producto compostado.*

PASTOR, CARLOS. Proyecto de diseño de un biorreactor para la producción de compost a partir de biorresiduos. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Jaume I, Facultad de Ingeniería Agro-alimentaria y del Medio rural, Valencia-España. 2019. pp. 33-35. [Consulta: 29 de agosto del 2020]. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/183933/TFG%20C.Pastor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

QUISHPE, MARÍA. Elaboración de compost a partir del estiércol de cuy (*Calvia Porcellus*) y su aplicación en la comuna Lumbisí (Sector Cumbayá). (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Quito- Ecuador. 2017. pp. 3. [Consulta: 29 de agosto del 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13006/1/T-UCE-0017-0062-2017.pdf>

TIPÁN, PAOLA. Diseño de una planta para el proceso de compostaje a partir de residuos orgánicos urbanos para la empresa pública Municipal mancomunada de aseo integral Patate-Pelileo. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 12. [Consulta: 29 de agosto del 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6519/1/96T00373.pdf>