

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS
VEGETALES DE LA PLAZA DE MERCADO “LA GRAN PLAZA CAMPESINA” DE
SUBA COMPARTIR A TRAVÉS DEL SISTEMA DE LOMBRICULTURA**

MARIANA RODRÍGUEZ GÓMEZ

**Proyecto integral de grado para optar el título de
Ingeniero Químico**

**Director
HARVEY MILQUEZ
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2021

Nota de aceptación:

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C., febrero de 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme acierto al empezar, dirección al progresar y perfección al acabar para lograr culminar este proyecto.

A mi madre por su apoyo y por ser mi compañera de tesis ideal.

A mi amiga Natalia Arias por involucrarse cada noche y cada madrugada conmigo superando las dificultades que se presentaron en este camino.

Al ingeniero Harvey Andrés Milquez, Director del proyecto por brindarme su conocimiento y por guiarme en el desarrollo del proyecto.

A la universidad América y sus docentes por los conocimientos que me brindaron a lo largo de mi carrera y que he podido aplicar tanto en mi vida laboral como en la elaboración de este trabajo de grado.

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por darme la fuerza para afrontar cada etapa de mi vida y brindarme la sabiduría para sobrellevar las dificultades, a mi familia acompañarme con su amor en cada paso que doy, a mis amigos por los buenos recuerdos y por su cariño que perdura más allá de este ciclo que se cierra, a aquellas personas que dejaron una huella en mi camino y las que ahora caminan a mi lado y a esa primera persona que con su apoyo incondicional hizo que mi sueño de ser Ingeniera química se transformara en esta realidad que estoy viviendo.

Las directivas de la universidad de América, como los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
TABLA DE CONTENIDO	7
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 Residuo	15
1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos	15
1.1.2 Lombricultura.	19
2. METODOLOGÍA	30
2.1 Recepción de la Materia Orgánica	3
2.1.1 Adecuación del alimento	5
2.2 Medición de Parámetros de Entrada	8
2.3 Diseño de Reactor	10
2.3.1 Cinética del reactor	12
2.3.1 Medición de parámetros de salida	13
2.3.2 Tiempo de seguimiento	15
3. RESULTADOS	20
3.1 Caracterización de la Materia Orgánica	20
3.2 Condiciones Operativas Iniciales.	49
3.2.1 Lombriz.	49
3.2.2 Determinación de necesidad de precomposteo	49

3.2.3 Materia orgánica	51
3.2.4 Tipo de reactor	51
3.2.5 Parámetros	51
3.3 Seguimiento de Variables de Proceso	55
3.3.1 Temperatura	55
3.3.2 pH	57
3.3.3 Humedad	58
3.4 Obtención de Humus	59
4. EVALUACIÓN DE COSTOS A NIVEL BANCO	62
4.1 Diagrama de Proceso	62
4.2 Balance de Materia	65
4.3 Dimensionamiento de Costos	67
5. CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	58

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación de los Residuos Orgánicos Municipales según su fuente.	17
Figura 2. Partes de la lombriz roja californiana.	20
Figura 3. Relación C/N, durante diferentes fases de descomposición de materia orgánica	24
Figura 4. Diagrama de metodología	3
Figura 5. Diagrama de bloques de generación y recolección de MO proveniente de la PM	4
Figura 6. Calendario agrológico.	5
Figura 7. Torta de MO	6
Figura 8. Torta Cuarteada	6
Figura 9. Diagrama de proceso de recolección de MO	7
Figura 10. Ruta bibliográfica de recolección de información	9
Figura 11. Sistema de Vermicompostaje	11
Figura 12. Proceso de tamizado	14
Figura 13. Montaje del filtro.	15
Figura 14. Diagrama de conexión de sensores del sistema de monitoreo	17
Figura 15. Instalación de sensores	18
Figura 16. Formato de visualización Blynk	19
Figura 17. Comportamiento de temperatura	55
Figura 18. Comportamiento de pH	57
Figura 19. Comportamiento de la humedad	58
Figura 20. Probeta con humus.	61
Figura 21. Diagrama de bloques	63
Figura 22. Diagrama PI&D	64
Figura 23. Balance de reactor	65
Figura 24. Balance global	66

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación y fuente de residuos orgánicos.	16
Tabla 2. Composición de residuos sólidos generados en plazas de mercado.	18
Tabla 3. Cantidad de microorganismos por tipo de abono, Unidades formadoras de colonia -UFC- contabilizados por el laboratorio de Ingeniería Agrícola Universidad Nacional.	26
Tabla 4. Microorganismos benéficos en el proceso de degradación	27
Tabla 5. Composición del Humus	29
Tabla 6. Bach de alimentación	7
Tabla 7. Dimensiones del reactor	11
Tabla 8. Descripción de sensores	17
Tabla 9. Caracterización fisicoquímica teórica	47
Tabla 10. Consolidación de revisión bibliográfica	53
Tabla 11. Distribución del tamiz	59
Tabla 12. Composición del lixiviado	60
Tabla 13. Tabla de información de manejo de RSO.	68
Tabla 14 Distribución de alimentación por cajones	49
Tabla 15 Tabla de costos	49

RESUMEN

El manejo y disposición de residuos sólidos es en la actualidad una problemática ambiental a nivel mundial, por lo que han surgido diversas estrategias para mitigar el impacto que estos generan. La lombricultura o vermicompostaje es una de esas biotecnologías usadas para la transformación de materia orgánica utilizando principalmente la lombriz como herramienta para reducir el volumen del residuo, producir humus de lombriz o lombriz como pie de cría, entre otros. El presente trabajo contribuye a la validación de esta técnica como alternativa para el aprovechamiento de residuos sólidos: se inicia con la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los residuos sólidos obtenidos en una plaza de mercado, y se establecen las condiciones operativas adecuadas para el desarrollo de la técnica por medio de referenciación bibliográfica.

En este trabajo se determinó que por las características presentes en este tipo de residuos es factible su uso como alimento del vermicompost, sin embargo por el alto contenido de fruta es necesario evitar valores de pH superiores a 8 e inferiores a 9, así como mantener la temperatura en el rango de 15°C a 27°C posteriormente se inició la evaluación de las condiciones establecidas implementando un reactor con sensores que permiten monitorear la temperatura, humedad y pH. Se escalaron los costos del proyecto acoplados a las necesidades actuales de la plaza de mercado (PDM) la gran plaza campesina.

PALABRAS CLAVES

Vermicompostaje, residuos sólidos, Eisenia foetida, Plaza de mercado, Materia orgánica

INTRODUCCIÓN

Existe una problemática social y ambiental como lo es el manejo de residuos orgánicos que causan afecciones a las comunidades que habitan en los alrededores de plazas de mercado debido que una mala disposición de estos es un vector de proliferación de plagas, además del impacto ambiental que causa un mal manejo de residuos sólidos y los lixiviados que estos producen son una gran problemática actual en los rellenos sanitarios debido a que estos lixiviados generan contaminación en los suelos y aguas subterráneas o superficiales. Es por esto por lo que para evitar un mayor impacto ambiental se propone tratar los residuos sólidos orgánicos salientes de la plaza de mercado y previo a su llegada a los rellenos sanitarios, ya que las plazas de mercado son unas grandes generadoras de este tipo de residuos, lo que hace más fácil la separación de estos para realizar un tratamiento específico.

La ciudad de Bogotá deposita diariamente en el relleno sanitario de Doña Juana cerca de 5000 toneladas de residuos sólidos. Las plazas y CORABASTOS producen diariamente 70,5 toneladas; es decir, contribuyen con el 1,4% de los residuos totales [2]. Estas cifras contemplan únicamente los residuos provenientes de las plazas distritales, sin embargo, además de estas se calculan alrededor de 18 plazas privadas y otras pequeñas plazas sobre las cuales no se tiene un censo claro.

Los procesos de transformación aeróbica como la lombricultura son técnicas de baja dificultad y que permiten ser reproducidos. Esto posiciona dicha técnica como una de las alternativas aptas para implementar como modelo de solución auto sostenible en el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, para replicado en las plazas de mercado de la ciudad ya que además no requiere condiciones iniciales rigurosas para la materia prima. Sin embargo, al ser un método versátil en su alimentación es necesario establecer las condiciones ambientales y parámetros que determinen el éxito de este tipo de biotecnología aplicada en el aprovechamiento de materia orgánica proveniente de una plaza de mercado y una vez analizado este comportamiento se pueda repetir a gran escala en los mercados distritales.

Se busca tomar un desecho y convertirlo en una fuente de ingresos proponiendo un proceso adecuado. Y como deber del ingeniero químico está tomar un proceso y haciendo uso de sus habilidades traducirlo de manera clara y organizada que le permita ser replicado por profesionales de diferentes áreas

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer el aprovechamiento de residuos sólidos vegetales de la plaza de mercado “la gran plaza campesina” de suba compartir usando el sistema de lombricultura.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos sólidos vegetales de una plaza de mercado
- Establecer las condiciones operativas para el desarrollo de la técnica de lombricultura.
- Evaluar las condiciones operativas propuestas.
- Realizar el coste de la implementación de la propuesta de aprovechamiento de los desechos orgánicos vegetales obtenidos de la plaza de mercado “la gran plaza campesina”

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Residuo

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien con valor económico o de disposición final [5].

1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos

Existen diferentes formas de clasificar los residuos sólidos, ya sea por su origen, por su estado o tipo de manejo. En la tabla 1 se muestra la clasificación de los residuos según la fuente generadora y su disposición con base a las características de cada tipo de residuo.

Tabla 1.

Clasificación y fuente de residuos orgánicos.

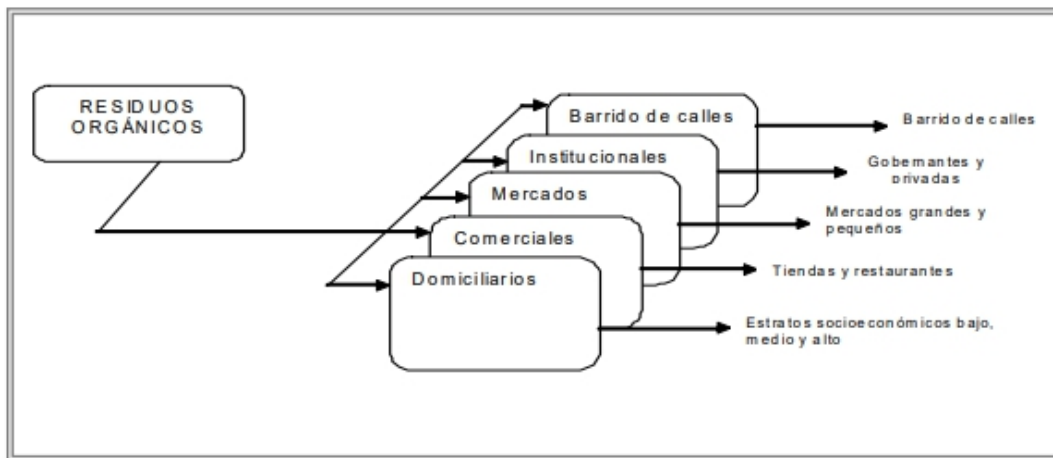
Clasificación y fuente	
Residuos ordinarios Hogares <ul style="list-style-type: none"> • Pequeños generadores • Grandes generadores • Plazas de mercado • Vías y espacios públicos • Hospitales y clínicas 	Residuos no peligrosos <ul style="list-style-type: none"> • Orgánicos e inorgánicos comunes • Escombros contaminados (mixtos)
	Residuos peligrosos <ul style="list-style-type: none"> • Hospitalarios y similares (peligrosos)
	<ul style="list-style-type: none"> • RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos) • Residuos por consumo
Residuos industriales <ul style="list-style-type: none"> • Fabricas • Obras de construcción y demolición • Tratamiento de aguas residuales 	Residuos no peligrosos <ul style="list-style-type: none"> • Orgánicos e inorgánicos comunes • Lodos y biolodos
	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de construcción y demolición
	Residuos peligrosos <ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados, químicos, luminarias, llantas, etc.

Nota. Clasifica los residuos según su naturaleza y disposición. Tomado de: H. Hermida, «Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo,» Universidad Central, Bogotá, 2014. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341477255_Plazas_de_mercado_en_Bogota_generadoras_de_residuos_y_desarrollo

1.1.1.i Residuos sólidos orgánicos y su clasificación. Definición. Lo son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica [6]. Como se muestra en la figura 1 los residuos orgánicos de tipo municipal se clasifican según su fuente por la composición que presentan.

Figura 1.

Clasificación de los Residuos Orgánicos Municipales según su fuente.



Nota. Clasifica los RO municipales según su fuente. Tomado de G. Jaramillo y L. Zapata, «Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia,» Universidad de Antioquia, Medellín, 2008. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

1.1.1.ii Residuos sólidos provenientes de la plaza de mercado. Los residuos sólidos generados en plazas de mercado están compuestos por residuos de origen vegetal y animal, alimentos procesados, empaques, otros residuos como textiles y papeles, y residuos inorgánicos (no susceptibles de ser degradados biológicamente) [3].

Una distribución aproximada de los tipos de residuos que se pueden encontrar en una plaza de mercado (basados en estudios realizados sobre las plazas distritales de Bogotá D.C.) se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Composición de residuos sólidos generados en plazas de mercado.

Tipo de residuo	Ton/día	%
Verduras, frutas y hortalizas	62,4	88,5
Papel	3,5	4,9
Madera	1,8	2,5
Plástico	1,7	2,4
Cárnicos	0,4	0,7
Otros	0,7	1

Nota. Composición aproximada que se puede encontrar en una plaza de mercado. Tomado de: H. Hermida, «Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo,» Universidad Central, Bogotá, 2014. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341477255_Plazas_de_mercado_en_Bogota_generadoras_de_residuos_y_desarrollo

Para el proceso de lombricultura se deben someter los residuos sólidos a pruebas que permitan establecer propiedades tales como la densidad promedio de los residuos, La humedad, el contenido de carbono, los fenoles, los nitratos, los nitritos y nitrógeno total. Los sólidos totales y los sólidos volátiles. Los sulfatos, los sulfitos. El pH [2].

1.1.2 Lombricultura.

La lombricultura es la técnica de criar lombrices en cautiverio, logrando obtener una rápida y masiva producción y crecimiento en espacios reducidos, utilizando para su alimentación materiales biodegradables de origen agrícola, pecuario, industrial y casero, produciendo como resultado la transformación de los desechos en biomasa y humus (abono orgánico) de alta calidad [6].

Es un proceso similar al compostaje donde en adición a las bacterias y otros microorganismos, el sistema digestivo de la lombriz juega un papel importante, transformando los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad debido a los microorganismos benéficos que le aporta al suelo [7] en este proceso las lombrices con ayuda de los microorganismos transforman la materia orgánica en compuestos más simples.

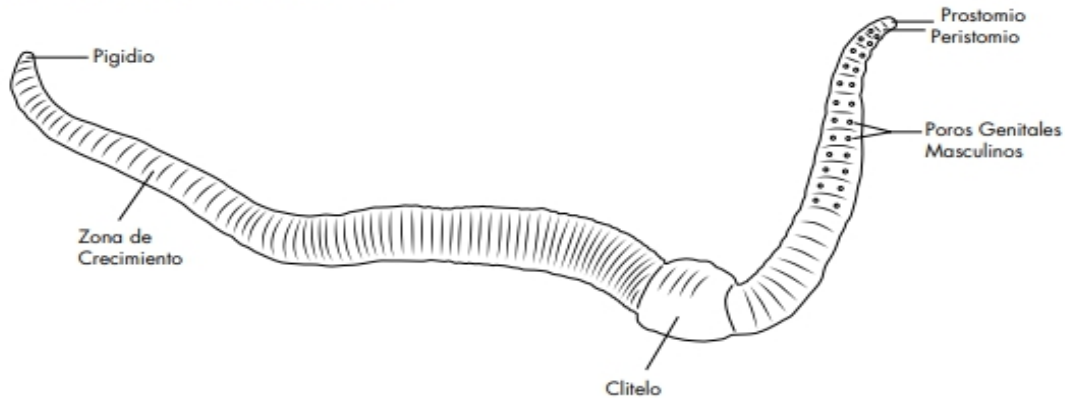
1.1.2.i. Especies de lombrices cultivables. La especie de lombriz que se utiliza es la roja californiana *Eisenia foetida*, es una especie domesticada que se reproduce rápidamente, alcanzando en poco tiempo altas densidades de población, además su manejo es muy fácil [8]. La anatomía de la lombriz como se muestra en la figura 2 le permite alcanzar tasas de reproducciones altas, un procesamiento rápido de la materia orgánica así como un arado del suelo.

Figura 2.

Partes de la lombriz roja californiana.

PHYLUM ANNELIDA
CLASE OLIGOCHAETA

Morfología externa de la lombriz de tierra



Nota. Descripción de la anatomía de la lombriz, Tomado de: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, «Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura,» 2014. Disponible en: http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

- Puede vivir hasta los 16 años;
- Puede alcanzar una masa promedio de 1 gramo.
- Tiene 5 corazones, 6 pares de riñones y 182 conductos excretores.
- Se alimenta de todo tipo de desechos orgánicos.
- El aparato digestivo de la lombriz humidifica en pocas horas lo que tarda años a la naturaleza.
- Expulsa el 60% de la materia orgánica después de su digestión.
- Dependiendo de la materia prima la tierra que ha pasado por la lombriz en promedio tiene 5 veces más nitrógeno, 7 veces más potasio, el doble de calcio y de magnesio.
- 100,000 lombrices ocupando 2 m² son capaces de producir 2kg de humus cada día.
- Puede vivir en poblaciones de hasta 50.000 individuos por m² [9].

1.1.2.ii. Reproducción. El cuerpo de la lombriz parece una cadena formada de anillos, destacándose un anillo más grande, que contiene los órganos reproductivos, denominado clitelo. La lombriz es hermafrodita, es decir que en un mismo individuo tiene los dos sexos, pero para la reproducción se requiere de dos individuos. La fertilización es cruzada, se realiza por la unión de los clitelos de dos lombrices, donde se realiza la cópula, cada 7-10 días. Los dos individuos quedan fecundados y producen huevos, llamados cocones, o capullos. Los huevos tienen forma de limón y apariencia amarilla transparente al inicio, siendo más café a medida que progresa el desarrollo de la lombriz [7].

Cada capullo contiene de 2 a 12 lombrices que emergen a los 21 días de ser depositadas. La lombriz recién eclosionada mide 1mm de longitud. Los individuos juveniles inician el periodo reproductivo a los 3-4 meses, cuando pasan a ser adultos y están sexualmente maduros. Para este momento alcanzan más o menos 3 cm. Finalmente a los 7 meses, alcanzan su peso y tamaño final de 1 g y 7-8 cm de largo. Viven en promedio 10 años¹⁰.

1.1.2.iii. Parámetros y su medición. La práctica de lombricultura exige que se realice bajo algunos rangos determinados de temperatura, pH y humedad, para que las lombrices puedan prosperar y realizar el trabajo de procesar los residuos sólidos orgánicos en subproducto aprovechable como el compost [7].

a) **Humedad.** Este factor interviene en la reproducción y fecundidad de las cápsulas o cocones, una humedad superior al 85% es perjudicial para las lombrices, haciendo que éstas entren en un período de inactividad en donde se afecta la producción de lombrihumus y la reproducción de biomasa. Las condiciones más favorables para que la lombriz produzca y se reproduzca se presentan a una humedad del 80 %, es aceptable hasta 70 %, debajo de 70 % de humedad es una condición desfavorable, por otro lado, niveles de humedad de 55 % son mortales para las lombrices.

Es básico recordar que la humedad de 80% controla la plaga, hormigas que se acercan por los azúcares que produce la lombriz al deslizarse por las galerías del

substrato [9]. Es de recordar que este parámetro puede ser medido a través de un sensor de humedad o con la prueba de puño. Además, se recomienda realizar el riego con agua de lluvia o agua reposada para que el cloro del agua potable no afecte los microorganismos.

b) **pH.** El pH influye directamente durante el proceso de transformación, pues la alcalinidad o la acidez determinan en el sustrato la interacción de distintos factores en su descomposición y específicamente para la reproducción de la lombriz roja californiana. El pH está dado por la humedad y la temperatura, la lombriz tiene un rango de tolerancia entre 5 a 8.4; siendo el ideal de 7 (neutro). Sí el pH es ácido, la lombriz entra en una etapa de dormición y se desarrolla una plaga llamada planaria.

El pH ácido se puede corregir con una aplicación de carbonato de calcio (cal común); aproximadamente 2 oz/m². Sí el pH está alto, se agrega papel periódico picado. No importa la procedencia mezclándolo en el sustrato de bovinos 15 días antes de que esté precompostada. El objetivo es que el alimento se estabilice en un pH de 7.5 a 8.0, El pH cercano a neutral es favorable para la lombriz. La alimentación con desechos de mala calidad nutritiva disminuye la producción y fecundidad [9] este puede ser medido con ayuda de un pH-metro digital o por medio de las cintas de papel indicadoras.

c) **Temperatura.** Es un parámetro fundamental en la transformación biológica de la materia orgánica, el rango ideal para el buen desarrollo de la lombriz (agente transformador) es de 15°C a 25°C; en condiciones controladas, es fácil de mantener, sin embargo, cuando se trabaja al aire libre se debe de tener un buen control, alcanzarla y mantenerla. Una de las especies de lombriz más empleadas en este campo ha sido *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana); la cual vive sin problemas en ambientes con temperatura de 10 y 25 °C. A 30 °C, no hay producción de cápsulas, por lo que las temperaturas son factores importantes que influyen en la producción y fecundidad de cápsulas. En cuanto a la fecundidad, se reporta que bajo temperaturas controladas de 15 °C, 20 °C y 25 °C, eclosionan 2.6, 3.1 y 2.7 lombrices por cápsula respectivamente, por lo que la temperatura óptima es de 20 °C [9].

d) **Luminosidad.** Las lombrices son fotosensibles, por lo tanto, se debe mantener el lombricultivo protegido de los rayos directos del sol, ya que condiciones de exposición directa pueden matar a la lombriz [7].

e) **Salinidad.** Debe estar por debajo de 0,5 %. Es importante conocer el origen del alimento del lombricultivo debido a que los residuos pueden contener altos contenidos de sal que pueden afectar el desarrollo de las lombrices [7].

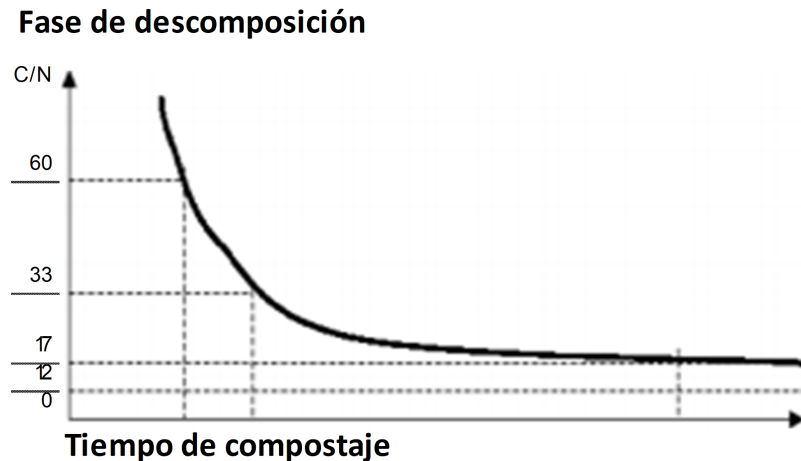
f) **Contenido de amonio.** Se recomienda que el contenido de amonio se mantenga por debajo de 0,5 mg/g. Una dieta rica en nitrógeno puede causar “gozzo ácido”, también síndrome proteico, enfermedad que puede matar a las lombrices [7].

g) **Relación C/N.** El tiempo de transformación de la materia orgánica, está sujeto al contenido de C y N que contenga la muestra a tratar; esta relación caracteriza los diversos materiales orgánicos biodegradables (MO), orientando al lombricultor acerca de cómo disponer y/o combinarlos a los fines de optimizar un compostaje apropiado de los mismos. Es sabido que para que ello ocurra se requiere que la MO generada posea una relación de 30 (eventualmente 25) a 40 partes de carbono (C) por cada una de nitrógeno (N). En términos generales, los microorganismos absorben 30 partes de C por cada parte de N. El carbono se utiliza como fuente de energía siendo 10 partes incorporadas al protoplasma celular y 20 partes eliminadas como dióxido de carbono (CO₂). Esta razón de 10:1 que tienen los microorganismos es la misma que tiene el humus [9].

Si existe exceso de C con relación al N (relación C/N alta), el carbono se consume o elimina en cuanto que el nitrógeno va siendo reciclado, pues los microorganismos que mueren cederán el nitrógeno de sus esqueletos. De ese modo, un material con una relación 80/1, por descomposición va perdiendo carbono. A medida que el nitrógeno se recicla, baja la relación hasta llegar a 10/1, cuando se estabiliza en forma húmica [9]. En la figura 3 se puede ver la relación entre la fase de descomposición y el tiempo de compostaje.

Figura 3.

Relación C/N, durante diferentes fases de descomposición de materia orgánica



Nota. Comportamiento de las fases de descomposición a lo largo del tiempo. Tomado de: J. Garavito, N. Morales y A. Chavez, «Descripción de metodologías del sistema de lombricultura para gestión de residuos sólidos orgánicos,». Tomado de: Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, 2002. Disponible en: https://www.umng.edu.co/documents/10162/745277/V2N1_7_RES.pdf

h) **Sustrato.** Este es el factor de mayor importancia en el cultivo de lombrices debido a que dependiendo de este, será la calidad de humus y la supervivencia de las lombrices. Puede utilizarse cualquier desecho orgánico, excepto aquellos que puedan tener parásitos compatibles con el hombre, como son los excrementos de mascotas o que puedan contener metales pesados [8].

Dentro de los alimentos que se pueden ofrecer a las lombrices tenemos los estiércoles preferiblemente de caballo o vaca, papeles sin tinta (o con tintas ecológicas), cartón sin pintura, frutas, vegetales, cáscara de huevo, poda o corte de pasto, pulpa de café, granos, cereales, residuos de cosecha, paja, etc. [7].

Las lombrices pueden consumir todas las frutas incluso cítricos, papaya, papayuela, sin embargo, el exceso de ellos si puede causar daño a las lombrices, para evitar esto se debe tener en cuenta que la mezcla inicial tenga la relación carbono nitrógeno adecuada y el pH esté dentro de los rangos anteriormente mencionados [7].

1.1.2.iv. Pre-compostaje. Es la acción de pasar por un proceso previo de degradación los residuos, antes de suministrárselos a las lombrices, ya que muchos residuos tienen altos contenidos de ácidos orgánicos y otras sustancias que pueden llegar a ser perjudiciales, se recomienda realizar esta práctica para homogenizar la mezcla y alcanzar los valores de pH adecuados. Cuando se desconoce la procedencia de los residuos o se están manejando estiércoles, es aconsejable que la mezcla alcance la fase termofílica (55°C), para destrucción de microorganismos patógenos [7].

1.1.2.v. Microorganismos Benéficos. En la producción de abonos orgánicos son importantes los microorganismos que ayudan a degradar más rápido la materia orgánica, reduciendo el tiempo de la obtención de estos. Estos microorganismos son además altamente eficientes para el control de malos olores y control de moscas. Un caldo microbiológico es una mezcla de microorganismos benéficos naturales contenidos en un sustrato líquido con nutrientes suficientes para mantener estos microorganismos activos. Estos microorganismos, esencialmente levaduras, bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, actinomicetos y hongos fermentadores, no poseen manipulación genética, se encuentran presentes en ecosistemas naturales y son fisiológicamente compatibles entre sí [7]. En la tabla 3 se encuentra el conteo de microorganismos benéficos según la metodología de compostaje.

Tabla 3.

Cantidad de microorganismos por tipo de abono, Unidades formadoras de colonia - UFC- contabilizados por el laboratorio de Ingeniería Agrícola Universidad Nacional.

Tipo de abono	Bacterias UFC/g	Actinomicetos UFC/g	Hongos UFC/g
Compost	23.000.000	990.000	14.000
Bokashi	26.786.000	2.679.000	<1000
Lombricompost	103.879.000	10.519.000	151.000

Nota. Conteo de UFC por tipo de abono según la clase de microorganismo. Tomado de: Unidad Administrativa especial de servicios públicos, «Programa para la gestión de residuos sólidos orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C Versión 2,» Marzo 2010. [En línea]. Available: http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf.

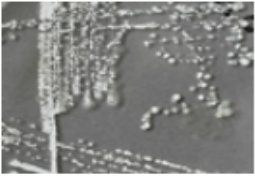
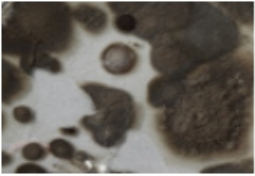
a) Función de Microorganismos benéficos.

- En la producción de abonos orgánicos son importantes los microorganismos que ayudan a degradar más rápido la materia orgánica, reduciendo el tiempo de la obtención de estos.
- Estos microorganismos son además altamente eficientes para el control de malos olores y control de moscas.
- Un caldo microbiológico es una mezcla de microorganismos benéficos naturales contenidos en un sustrato líquido con nutrientes suficientes para mantener estos microorganismos activos.
- Estos microorganismos, esencialmente levaduras, bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, actinomicetos y hongos fermentadores, no poseen manipulación genética, se encuentran presentes en ecosistemas naturales y son fisiológicamente compatibles entre sí.

b) Tipos de Microorganismos benéficos

Tabla 4.

Microorganismos benéficos en el proceso de degradación

Tipo de microorganismo	Beneficios	Dónde se encuentran
<p>Bacterias acidolácticas</p> 	<p>Sus enzimas les permiten romper químicamente residuos ricos en celulosa, lignina, quitina y proteínas. Producen ácido láctico que es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica.</p>	<p>Suero de derivados lácteos.</p> <p>Leche.</p>
<p>Actinomycetes</p> 	<p>Los <i>Actinomycetes</i> poseen la capacidad de regular la microbiota rizoférica a través de la producción de antibióticos y otros compuestos.</p> <p>Asociación con raíces para fijar nitrógeno. son importantes en el proceso de transformación hasta la obtención del humus en el suelo. Los mejores agregadores del suelo Algunos actinomicetos producen antibióticos que regulan los patógenos de las plantas, que están en el suelo.</p>	<p>Mantillo de bosque.</p>
<p>Pseudomonas</p> 	<p>Son reconocidas como solubilizadores de fósforo. La temperatura óptima para su funcionamiento es de 25 a 30°C, aunque pueden crecer desde los 5 hasta los 42 °C. No crecen bajo condiciones ácidas (pH ≤ 4.5) y necesita preferentemente pH neutro. La especie más utilizada en el tema de biofertilizantes es la <i>P. fluorescens</i>. Sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomycetes.</p>	<p>Mantillo de bosque.</p>
<p>Levaduras</p> 	<p>Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomycetes.</p>	<p>Mantillo de bosque, o son comercializadas para la producción de pan</p>

Nota. Describe cuales son los microorganismos benéficos, sus beneficios y donde encontrarlos. Tomado de: Unidad Administrativa especial de servicios públicos, «Programa para la gestión de residuos sólidos orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C Versión 2,» marzo 2010. [En línea]. Available: http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf.

1.1.2.vi. Productos. Se estima que el 60 % del sustrato inicialmente dado a la lombriz se convierte en humus, el cual es un producto natural, es el mejor fertilizante para las plantas debido a que es de origen orgánico, es biorregulador y corrector del suelo cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción [10].

Su elevada solubilización, debido a la composición enzimática y bacteriana, proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas. El humus de lombriz produce un aumento en el porte de las plantas, árboles, arbustos y los protege de enfermedades y cambios bruscos de humedad y temperatura durante el trasplante de estos [10005D].

Adicional a la producción de humus, a partir de esta técnica es posible comercializar el pie de cría para iniciar un nuevo criadero de lombrices. La composición del humus es importante por los nutrientes que aportará al suelo, la composición estándar es la que se encuentra en la tabla 5

Tabla 5.*Composición del Humus*

Composición del humus	
Humedad	30 a 60%
pH	6,8 a 7,2
Nitrógeno	1 a 2,6%
Fosforo	2 a 8%
Potasio	1 a 2,5%
Calcio	30 a 70%
Magnesio	2,8 a 5,8%
Materia Orgánica	1,5 a 3%
Ácido Fúlvico	0,02%
Ácido húmico	0,05%
Sodio	0,02%
Cobre	0,006%
Hierro	10 a 11%

Nota. Composición aproximada de un abono obtenido a partir de la lombricultura. Tomado de Unidad Administrativa especial de servicios públicos, «Programa para la gestión de residuos sólidos orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C Versión 2,» Marzo 2010. [En línea]. Available: http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf.

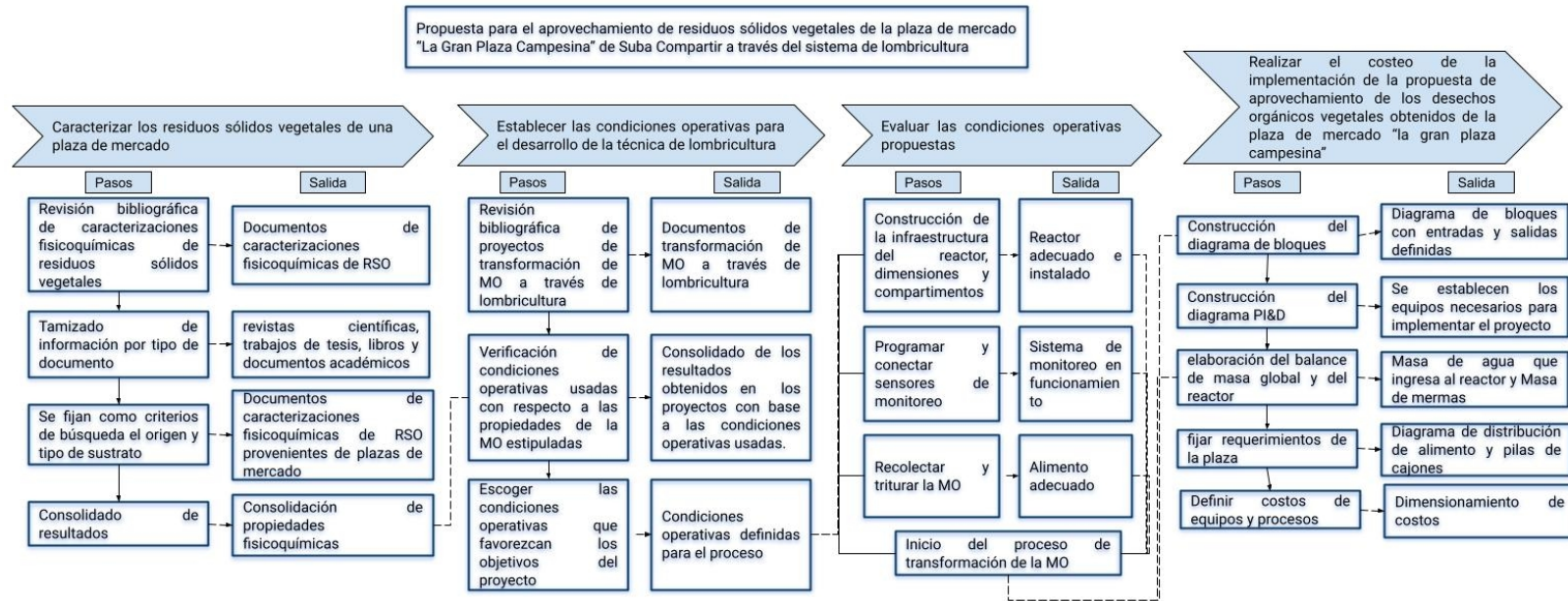
2. METODOLOGÍA

Este proyecto fue llevado a cabo de manera teórico-práctica, por lo que a través de este capítulo se describe la metodología usada desde la recolección de la MO y el tratamiento aplicado en su adecuación para la posterior disposición como alimento al birreactor. Se describen las rutas bibliográficas empleadas en la recolección de datos para una medición teórica de los parámetros de entrada. Se detalla también el diseño seleccionado para la construcción del reactor con base a la caracterización fisicoquímica establecida. Como parte del proyecto es necesario evaluar el comportamiento del proceso por lo que se describe la instrumentación usada y las técnicas de recolección de información, así como los métodos planteados para evaluar los productos obtenidos.

Como se muestra en la figura 4, se sigue una ruta metodológica tal que los hallazgos de cada uno de los bloques de investigación, son el punto de partida del siguiente bloque. De esta manera se obtienen resultados correlacionados y ajustados a los esperados con base a la metodología propuesta.

Figura 4.

Diagrama de metodología



Nota. Describe la ruta metodológica usada

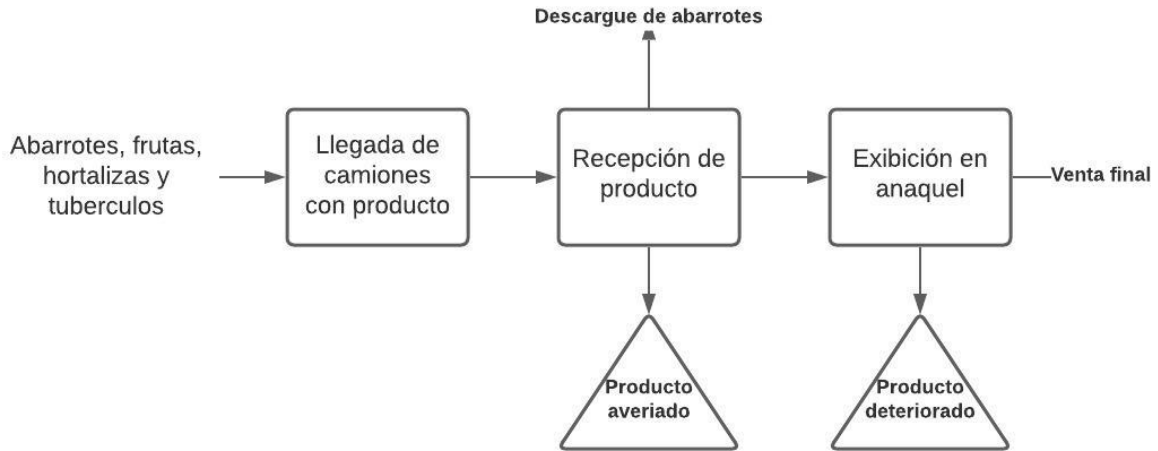
2.1 Recepción de la Materia Orgánica

La gran plaza campesina es una plaza de mercado dedicada al suministro de productos alimenticios ubicada en la localidad de Suba en el barrio suba compartir en la carrera 115 con calle 151c. Esa rodeada de comercios en su mayoría pertenecientes a su misma actividad económica.

Esta plaza de mercado genera residuos orgánicos (RO) provenientes tanto de la venta de abarrotes como de la venta de frutas, hortalizas y tubérculos. Los RO que serán usados como sustrato para el lombricultivo son compuestos a partir de distintas etapas del proceso como lo son el descargue de productos y la rotación en anaqueles. En esta primera etapa los productos son descartados por averías durante el transporte por lo que no logran cumplir los estándares mínimos de calidad para la venta, en la segunda etapa se encuentran alimentos que a pesar de ser rebajados de precio no lograron la rotación previa a alcanzar un estado avanzado de maduración el cual los descarta para la venta. En estas dos etapas los RO son dispuestos de manera que no se mezclan con desechos de tipo no orgánico provenientes de la venta de productos de abarrotes. A la fecha no existe un aprovechamiento de estos RO por parte de la plaza de mercado u otro externo. En la figura 5 se muestra el diagrama de bloques del proceso de disposición de los RSO para su posterior recolección.

Figura 5.

Diagrama de bloques de generación y recolección de MO proveniente de la PM



Nota. Describe la ruta de la generación de la MO aprovechable para su recolección

La recolección de los RO se ejecuta en el último trimestre del año, esta se realiza de manera aleatoria en las bolsas dispuestas diariamente por la plaza de mercado alrededor de las 8 am, hora en la cual finaliza la recepción de productos y el retiro de productos madurados.

Se realiza la recolección de manera aleatoria debido a que al ser una lombricultura a escala piloto, y con base al tamaño del reactor se deberán alimentar únicamente 1kg de RO semanalmente por la capacidad de consumo de la Eisenia Foetida y de esta manera no sobrecargar el lombricultivo y afectar las condiciones de transformación de la MO. Se encuentra en la información del calendario agrológico figura 6 [27] que a pesar del aumento en la recolección de cultivos específicos según el mes del año, es posible encontrar una porción de cada uno de los tubérculos, vegetales y frutas a lo largo del año, por lo que la temporada en la cual se realice el proceso de recolección no representa un cambio significativo en la muestra recolectada.

Figura 6.

Calendario agrológico.

Fruta-Hortaliza	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agc	Sep	Oct	Nov	Dic
Acelga												
Ahuyama												
Ají												
Ajo												
Alcachofa												
Apio												
Arveja Verde												
Berenjena												
Brócoli												
Calabaza												
Calabacín												
Cebolla Bulbo												
Cebolla Ocañera												
Cebolla Larga												
Cilantro												
Coliflor												
Espinaca												
Frijol Verde												
Haba												
Habichuela												
Lechuga												
Mazorca												
Pepino Cohombro												
Pepino Comun												
Pimentón												
Rábano												
Remolacha												
Repollo												
Tomate												
Zanahoria												
Plátano												
Arracacha												

Fruta-Hortaliza	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agc	Sep	Oct	Nov	Dic
Papa												
Papa Criolla												
Yuca												
Aguacate												
Banano Criollo												
Brevas												
Coco												
Curuba												
Durazno												
Fejoa												
Fresa												
Granadilla												
Guanabana												
Guayaba												
Limón												
Limón Tahiti												
Lulo												
Mandarina												
Mango												
Manzana Nacional												
Manzana Roja												
Maracuyá												
Melón												
Mora												
Naranja												
Papaya												
Patilla												
Pitahaya												
Piña												
Tomate de Árbol												
Uva												

Temporada alta
 Temporada media
 Temporada baja

Nota. Descripción de temporadas de cosecha por mes. Tomado de: Calendario agrológico de CORABASTOS <https://www.corabastos.com.co/en/calendario-agrologico>

2.1.1 Adecuación del alimento

Cuando se recibe la muestra recolectada de MO, esta es dispuesta sobre una superficie amplia y limpia para ser preparada y dispuesta en la canastilla como alimento para las lombrices. Inicialmente se realiza una revisión de la MO a fin de extraer posibles materiales no orgánicos que puedan afectar el desarrollo de las lombrices. Se realiza un método de cuarteo para el tratamiento de RO como lo indica Forero y Sanchez en el trabajo realizado en la plaza de mercado (PDM) del siete de agosto [12] el cual consistió en homogenizar la muestra recolectada y elaborar una torta circular con esta MO y posteriormente dividir en 4 partes iguales la muestra tomando dos porciones contrarias.

Figura 7.

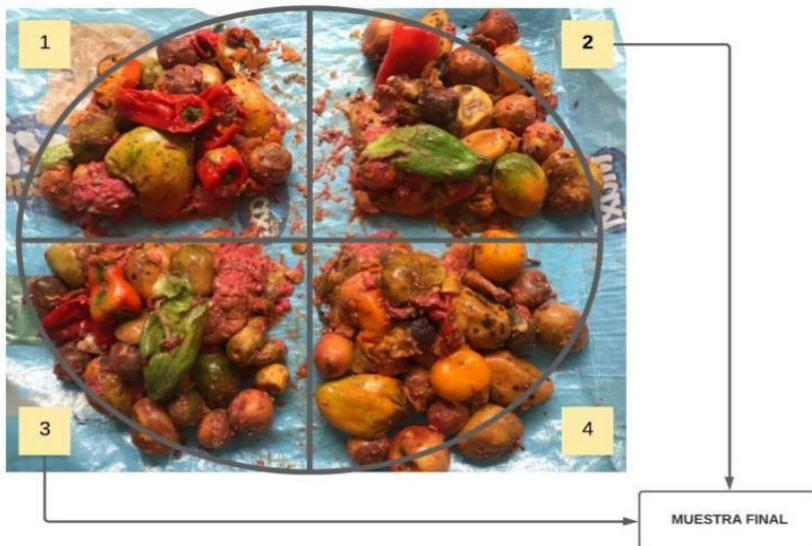
Torta de MO



Nota. MO dispuesta para realizar el muestreo por cuarteo.

Figura 8.

Torta Cuarteada



Nota. Aplicación del método de cuarteo.

Se realizaron 4 lotes de alimento al proceso, los cuales se encuentran descritos en la tabla 4. Detallando la composición de cada uno, la fecha de incorporación al reactor y la cantidad depositada.

Tabla 6.

Bach de alimentación

	Fecha	Contenido	Cantidad (kg)
Alimento 1	16 Oct 2020	Habichuela, zanahoria, guayaba, yuca, banano, papa, tomate, granadilla, fresa	1,5
Alimento 2	27 Oct 2020	Guayaba, pepino, durazno, papa, mango, naranja	1,2
Alimento 3	6 Nov 2020	Ibia, remolacha, plátano maduro, banano	1,1
Alimento 4	16 Nov 2020	Zucchini, tomate de árbol, durazno	1,4

Nota. Tabla de descripción de contenido alimentado al lombricultivo.

En la figura 9 se muestra el diagrama del proceso de recolección y alimentación de la materia prima al birreactor

Figura 9.

Diagrama de proceso de recolección de MO



Nota. Describe el proceso de recolección y adecuación que sufre la MO previo a su disposición

2.2 Medición de Parámetros de Entrada

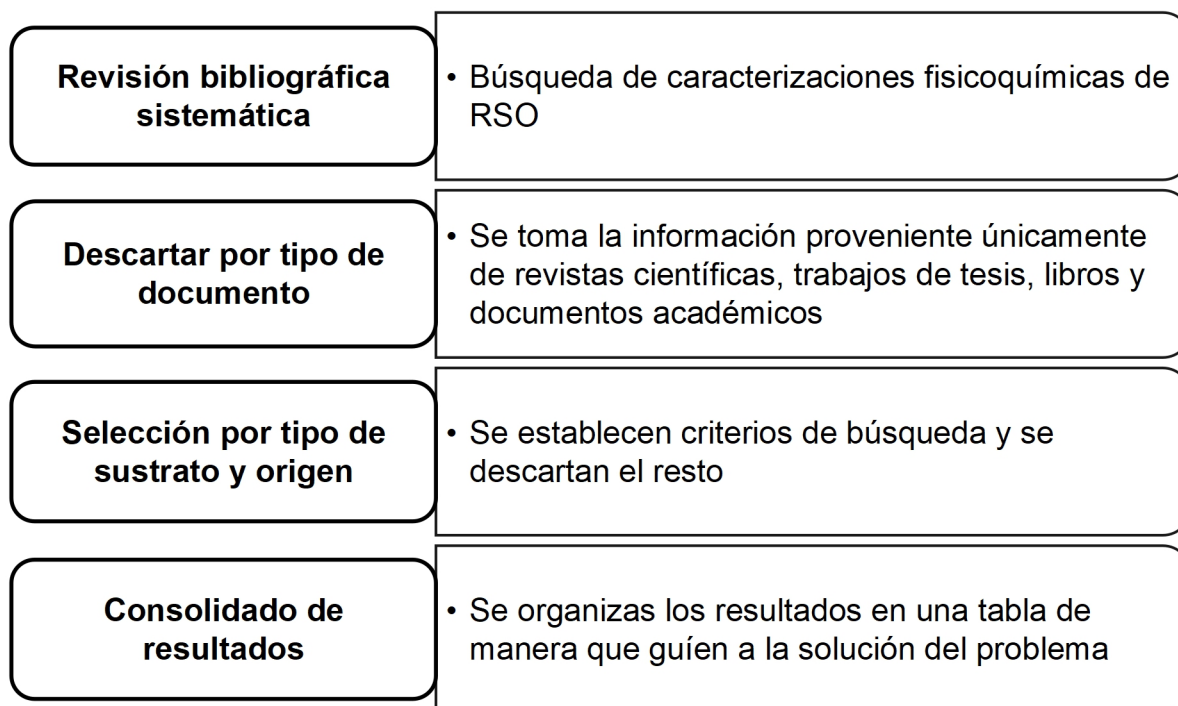
Para ejecutar la técnica de lombricultura se usa como sustrato la materia orgánica para las lombrices rojas californianas, en este caso residuos orgánicos provenientes de la plaza de mercado. Este material orgánico se encuentra conformado en su mayoría por frutas, verduras y hortalizas que son descartados por no cumplir estándares mínimos de calidad para la venta o por maltrato durante el transporte y descargue de la mercancía.

Para conocer las propiedades fisicoquímicas de dicho sustrato es necesario realizar una caracterización la cual se basó información recopilada de análisis realizados a residuos orgánicos obtenidos en diversas plazas de mercado de Colombia y Latinoamérica. Esto con el fin de determinar si dicho sustrato es viable para ser usado en la técnica de lombricultura o si requiere realizarse ajustes o controles rigurosos en alguna de las variables para evitar que afecte el crecimiento y reproducción de la lombriz

En la figura 10 se resume la ruta metodológica seguida en la búsqueda bibliográfica, usando motores de búsqueda de documentos académicos tales como google scholar, Lumieres, ambientalex.infox y ScienceDirect.

Figura 10.

Ruta bibliográfica de recolección de información



Nota. Muestra las etapas seguidas en la búsqueda bibliográfica

Se ejecuta una revisión bibliográfica sistemática definiendo como problema de estudio la caracterización fisicoquímica de residuos orgánicos provenientes de una plaza de mercado y posterior a esto se realiza una búsqueda de información bajo diferentes configuraciones. Se toma la información proveniente únicamente de revistas científicas, trabajos de tesis, libros y documentos académicos con el fin de descartar información sin bases sólidas que demuestren la veracidad de la información. Una vez descartados estos se tienen los documentos primarios y se organizan en una tabla de datos de la cual se seleccionan aquellos documentos que contengan los criterios de búsqueda y guíen a la solución del problema planteado.

Los estudios tomados como referencia para estimar los rangos que describan las propiedades fisicoquímicas de los residuos orgánicos que eran usados como sustrato son: A nivel distrital se encuentra el estudio realizado por el consorcio NAM-VELEZA en la ciudad de Bogotá DC, el cual abarcó las 18 plazas distritales y la central de abastos

[2], el trabajo de grado de Forero & Sanchez realizado a la plaza de mercado distrital del 7 de agosto [12] y el estudio realizado en la plaza de mercado del mortiño por Avendaño [13]; Mientras que a nivel internacional encontramos estudios realizados en Ecuador como lo son el trabajo de grado de Guevara en el cual realiza la caracterización de residuos sólidos del mercado municipal de Sangolquí, Ecuador [14] y el estudio realizado en la ciudad de Riobamba en Ecuador, el cual evaluó las características fisicoquímicas del mercado de esta misma ciudad [15]. Finalmente el artículo de la ciudad de Santo Domingo Oeste en los mercados municipales. La información consolidada se reporta en la tabla 9

2.3 Diseño de Reactor

Para la elección del vermicompostador se tiene en cuenta un diseño que facilite la recolección de los lixiviados y que permita una aireación del sistema con el fin de evitar reacciones anaerobias; Es necesario instalar una funda o cubierta removible que posibilite la alimentación y evite el ingreso de plagas y animales domésticos. El material escogido debe proteger el lombricultivo de la luz solar y los cambios extremos de temperatura. Es por esto que se escoge un sistema de canastilla que reduce la ocupación de espacio y permite darle mayor protección y control, se instala un sistema de recolección de lixiviados con válvula de aguja que evita los derrames con dos soportes, de alturas diferentes para proporcionarle una inclinación de 10° que facilite la recolección de los lixiviados por medio de la válvula. La canasta donde es sembrado el pie de cría es forrada con una malla que permita la aireación pero impida la fuga de las lombrices y es tapada con una lona de fácil remoción para protegerlo de plagas y aislarlo de la luz solar ya que las lombrices son fotosensibles.

Tabla 7.

Dimensiones del reactor

	Vermicompostador	Recolector de Lixiviados	Cubierta
Alto (cm)	23	17	6
Largo (cm)	58,5	58,5	58,5
Ancho (cm)	38,6	38,6	38,6
Material	Polietileno	Polietileno	Lona

Nota. Describe las dimensiones de cada pieza del reactor.

Figura 11.

Sistema de Vermicompostaje



Nota. Imagen del reactor construido con sistema de monitoreo

2.3.1 Cinética del reactor

Como base de la cinética de degradación, se toma el comportamiento obtenido en un reactor de compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras [39] en el cual se calcula la pérdida de la MO dada por la mineralización siguiendo el comportamiento con una cinética de primer orden, donde la velocidad es directamente proporcional a la concentración del sustrato. A partir de este comportamiento Iñiguez et. Al determinan la proporción de pérdida del sustrato P [39] S. a través de la ecuación 1. Encontrando constantes de degradación de 0,0142 (días⁻¹) y 0.0178 (días⁻¹) para los experimentos de interés.

Ecuación 1.

Cinética de primer orden

$$PS = \frac{S_0 - S}{S_0} = 1 - \frac{S}{S_0} = 1 - e^{-kt}$$

Nota. Describe la pérdida de la MO en un reactor de degradación de bagazo de agave

Dónde:

PS: proporción de pérdida MO degradada

K: constante de velocidad de reacción (días⁻¹)

t: tiempo (días)

S₀: concentración inicial del sustrato (kg sustrato inicial/ kg de muestra inicial)

S: Concentración del sustrato (kg sustrato / kg de muestra inicial)

La proporción de pérdida de la MO por la mineralización durante el proceso de compostaje es posible calcularla a través de la ecuación 2

Ecuación 2.

De pérdida de MO

$$\text{Pérdida de MO\%} = 100 - \frac{(100 - x)x_0}{(100 - x_0)x}(100)$$

Nota. Describe el comportamiento de la pérdida de la MO en un reactor de degradación de bagazo de agave

Dónde:

X₀: Porcentaje inicial de cenizas

X: Porcentaje de cenizas en cualquier momento del compostaje

2.3.1 Medición de parámetros de salida

Una vez finalizada la transformación de los bach de MO alimentados al vermicompostador se inicia la fase de retiro de las lombrices para obtener el humus sólido separado. Esto se logra por medio de la técnica comúnmente llamada “trampeo” la cual consistió en continuar con el reactor en ausencia de MO durante una semana y posterior a eso instalar una malla y adicionar MO acompañada de un medio para lograr que las lombrices atravesen la malla en busca de alimento y conseguir retirar la mayor cantidad de lombrices, este proceso se realizó 2 veces usando una malla de 1,5 cm*1,0 cm y posterior a se procede a realizar los proceso de secado de humus para su posterior tamizado y filtrado de los lixiviados almacenados.

Para el proceso de tamizado, una vez retiradas las lombrices se extiende una capa delgada de humus sólido sobre una lona expuesta a la luz solar con el fin de lograr disminuir la humedad a 40% aproximadamente. Una vez se encuentre disminuida la humedad se procede a tamizar el contenido con un tamiz #9 en la escala de tamices Tyler 1910.

Figura 12.

Proceso de tamizado



Nota. Humus obtenido del proceso en el respectivo tamiz.

Durante el filtrado es vaciado el contenido del recolector de lixiviados haciéndolo pasar por una tela porosa con el fin de recuperar la mayor cantidad de sólidos en suspensión, inicialmente se realiza la filtración únicamente con el arrastre por caída de gravedad y una vez retirado una gran porción de sólidos, se ejerce presión sobre el material seco.

Figura 13.

Montaje del filtro.



Nota. Elementos usados para el proceso de filtrado.

2.3.2 Tiempo de seguimiento

Debido a la importancia de controlar los parámetros de operación, se instala un sistema de seguimiento constante con integración de la tecnología de internet de las cosas (IoT) el cual consiste en una serie de sensores conectados por medio de microprocesadores los cuales envían la lectura de pH, temperatura y humedad a través de internet a un dispositivo móvil haciendo uso de una aplicación que permite una fácil lectura de los parámetros de monitoreo.

El objetivo de estos sensores es realizar una medición continua de los parámetros que tienen una gran incidencia sobre el desarrollo de las lombrices y un impacto en la obtención de los productos.

Se realiza una medición de pH para evitar una acidificación del medio por debajo de 6 ya que esto es asociado a una descomposición anaerobia que se refleja en una liberación de ácidos orgánicos y por tanto una lenta descomposición de la materia orgánica y en algunos casos causar una muerte masiva de lombrices, sin embargo, se procura mantener mediciones cercanas a la neutralidad entre 6 y 8.

La temperatura requiere un control riguroso, por lo cual el monitoreo de esta debe ser constante para evitar elevadas temperaturas que disminuyan la humedad del medio y evitar descensos de temperatura que inhiba su reproducción. Por lo que se monitorea que la medición de la temperatura se encuentre entre 15°C y 27°C.

La humedad al ser el factor esencial tanto en la reproducción como en la supervivencia y rendimiento de la lombriz, esta debe encontrarse entre 80 y 90% debido a su respiración cutánea y a que su movilidad depende de la humedad del medio.

Para realizar la construcción del sistema de monitoreo se efectúa una programación de un código en lenguaje de programación de Arduino en los anexos A y B. El código programado consiste en traducir la lectura en mV realizada por cada uno de los sensores a su unidad correspondiente, es decir, temperatura (°C), pH, Humedad (%) esto es posible estableciendo un comportamiento de salida lineal de estas variables y asignando una pendiente de recta para cada una de ellas.

Se hace uso de dos microcontroladores para programar la entrada de pH como análogas y las entradas de datos de humedad y temperatura como digitales empleando una placa Arduino UNO como multiplexor. Una vez es traducida y almacenada la lectura es enviada a la aplicación Blynk para graficar las mediciones y permitir una fácil interpretación en tiempo real.

Tabla 8.

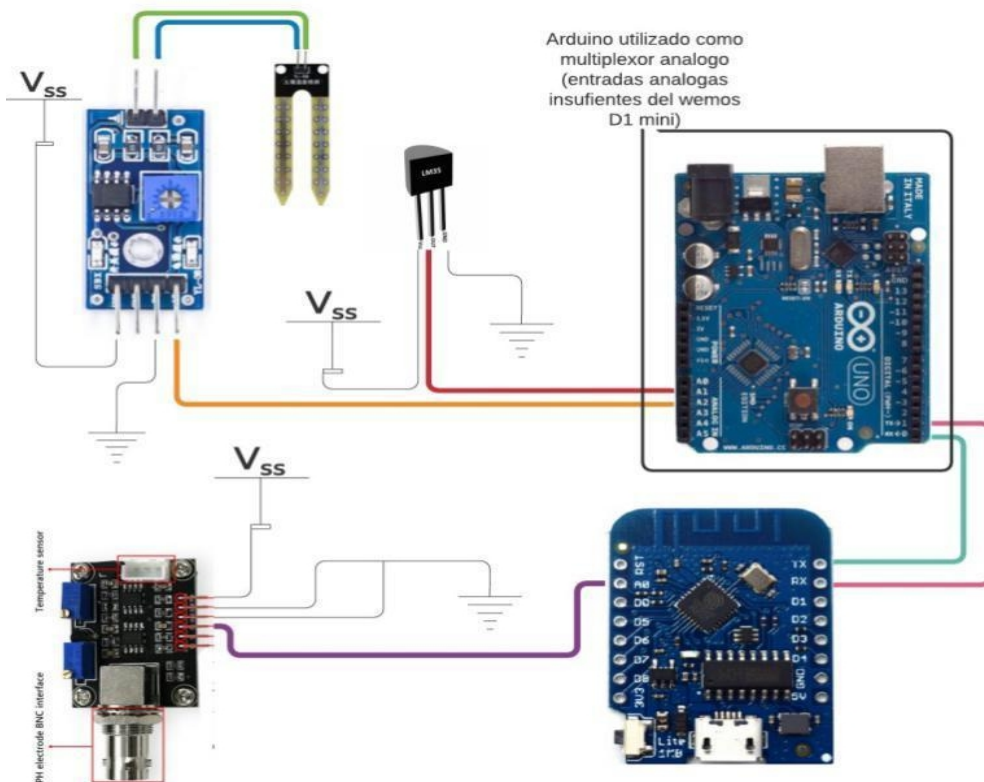
Descripción de sensores

Sensor	Función	Conexión
LM35	Sensor temperatura	Microcontrolador Arduino UNO
YL69	Sensor de humedad	Microcontrolador Arduino UNO
S-75	Placa controladora pH	Plataforma WeMos D1 mini
E-201-C	Sonda de medición de pH	Placa controladora pH

Nota. Describe la conexión y la función de cada sensor.

Figura 14.

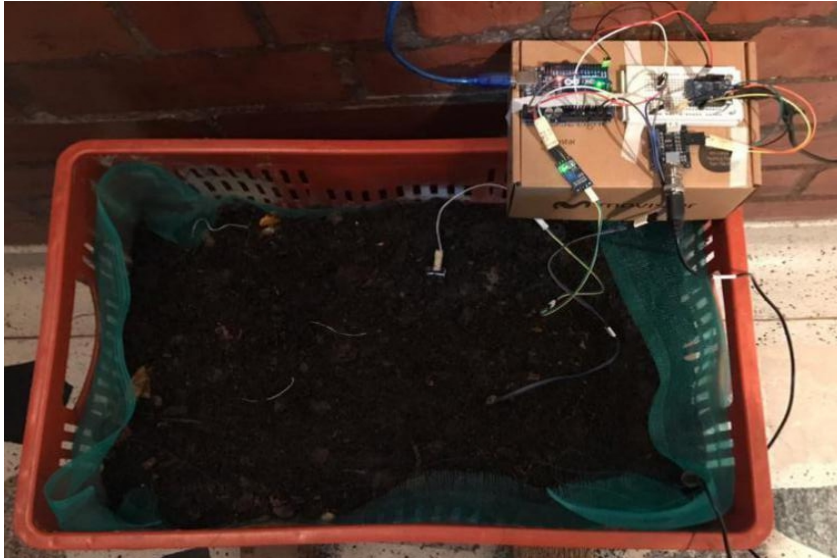
Diagrama de conexión de sensores del sistema de monitoreo



Nota. El diagrama muestra la conexión de los sensores en su respectiva placa.

Figura 15.

Instalación de sensores



Nota. Conexión e instalación de los sensores.

El monitoreo del comportamiento se realiza a través de la aplicación Blynk en la cual la información recibida se organiza de manera que exista una etiqueta en la cual se visualice la medición realizada para cada variable a tiempo real, se adiciona también una gráfica que permita revisar el histórico del comportamiento de cada variable y la conducta en tiempo real. Adicional se programa un correo el cual será enviado cada 12 horas con la lectura instantánea realizada de cada variable.

Figura 16.

Formato de visualización Blynk



Nota. Configuración de la aplicación. Tomado de

3. RESULTADOS

Llevando a cabo la metodología planteada en el capítulo anterior, se obtienen los resultados que se describen a lo largo de este capítulo. Partiendo de los rangos determinados en la caracterización fisicoquímica teórica y a partir de estos los parámetros de operación instituidos tomando como base los antecedentes bibliográficos. Una vez finalizado el proceso se encuentran las mediciones realizadas y los análisis obtenidos del comportamiento de cada una de las variables medidas. Se usaron los métodos de evaluación de productos planteados en el capítulo metodológico.

3.1 Caracterización de la Materia Orgánica

A partir de la información recopilada y estudiada se establecen los posibles rangos en los cuales se encuentran valuadas las propiedades fisicoquímicas de unos residuos sólidos obtenidos en una plaza de mercado.

Las lecturas de pH muestran mediciones promedio de 6,9 para este tipo de residuos, sin embargo, en los resultados obtenidos en las plazas distritales de Bogotá se encuentra una medición inferior de 6,1 y en el mercado de Riobamba se tiene una medición superior a la promedio de 8,28 la cual puede deberse a una composición en su mayoría de verduras y baja en frutas. La densidad esperada se encuentra entre 0,31 y 0,95 Ton/m³ debido a un dato desviado del promedio del estudio realizado por NAM-VELEZA.

Las propiedades como lo son la humedad, el porcentaje de carbono, el porcentaje de materia orgánica y el contenido de sodio no presentan una dispersión de datos entre los diversos estudios, por lo cual se establece un intervalo de mayor confiabilidad.

Respecto a los fenoles, nitratos, nitritos, sulfatos, cenizas y contenido de azufre, cobre, hierro, manganeso y zinc se tiene un único dato de referencia por lo cual se puede esperar una desviación del valor analizado respecto al contenido real del sustrato recolectado.

El rango del porcentaje de nitrógeno se estableció entre 1,1-2,76 % debido a que esta propiedad determinada con base seca en los seis estudios seleccionados presenta

amplia dispersión de datos demarcada por el resultado de 1,1% obtenido en el estudio de las plazas distritales de Bogotá y de 2,76 % en el mercado de Sangolquí, Ecuador.

Según los estudios realizados por NAM-VELEZA en las plazas distritales de Bogotá, el porcentaje de sólidos volátiles se encuentra entre 78,4 y 89,7 % mientras que los valores obtenidos en la plaza el Mortiño de Bogotá indica un valor del 16,24%. Debido a esta desviación se determina un amplio rango el cual podrá estar entre 16,24 y 89,7%.

Debido a la diversidad de residuos que se encuentran en una plaza de Bogotá comparada con una plaza de Ecuador o Santo Domingo, el contenido y la distribución de los residuos presenta una variación. Por lo anterior se establece un amplio rango en el cual se puede encontrar la relación C/N del sustrato a emplear, dicho rango se determina en 16,24 a 89,7 C/N.

Tomando los datos del contenido de nutrientes como P, K, Ca, Mg obtenidos de los análisis realizados en la plaza distrital del 7 de agosto en Bogotá y los dos estudios realizados de las plazas de mercado de Ecuador se determina que la % de composición es variable en un amplio rango por lo cual se toman los valores extremos y se puede esperar la presencia de estos nutrientes en los rangos descritos en la tabla 9

La compilación de datos realizada es con el fin de establecer rangos en los cuales se encontrarán las propiedades del sustrato a emplear y de esta manera realizar ajustes necesarios para que la composición del sustrato se encuentre en un nivel adecuado tanto para la reproducción y supervivencia de las lombrices como para la generación del lombricompost.

Tabla 9.*Caracterización fisicoquímica teórica*

Prop.	Unidad	NAM-VELEZA	Forero& Sanchez	Avendaño et al.	Guevara	Yokasta	Brito et al.	Rango consolidado
pH	U	6,1-7	6,6	--	6,4	--	8,28	6,1-8,28
d	Ton/m ³	0,31	0,95	--	0,90	--	--	0,31-0,95
H	%	80-92	89,46	--	75,06	75,84	82,24	75,06-92
C	%	43,5-49,8	38,90	--	45,35	44,07	46,71	38,9-49,8
Fenoles	mg/kg	14,3-316	--	--	--	--	--	14,3-316
Nitratos	mg/kg	372-18,04	--	--	--	--	--	372-18,04
Nitritos	mg/kg	5,2-32,8	--	--	--	--	--	5,2-32,8
N _T	%	1,1-2,1	2,76	1,44	1,31	2,12	1,82	1,1-2,76
ST	%	8-20	--	17,18	--	--	--	8-20-17,18
SV	%	78,4-89,7	--	16,24	--	--	--	16,24-89,7
Sulfatos	%	6,58-93,12	--	--	--	--	--	6,58-93,12
Cenizas	%	--	--	--	--	--	14,05	14,05
C/N	U	--	14,09	37,08	51,33	22,00	25,67	14,09-51,33
MO %	%	--	84,42	--	75,70	--	85,95	75,70-85,95

CE	mS	--	22,06	--	--	--	6,68	6,68-22,6
P	%	--	0,04	--	0,12	--	0,2	0,04-0,2
K	%	--	0,14	--	0,28	--	1,88	0,14-1,88
Ca	%	--	0,09	--	0,61	--	1,16	0,09-1,16
Mg	%	--	0,03	--	0,03	--	0,25	0,03-0,25
S	%	--	0,03	--	--	--	--	0,03
Na	%	--	0,03	--	0,056	--	--	0,03-0,056
Cu	ppm	--	--	--	--	--	9,49	9,49
Fe	ppm	--	--	--	--	--	10,63	10,63
Mn	ppm	--	--	--	--	--	52,55	52,55
Zn	ppm	--	--	--	--	--	29,37	29,37

Nota. Consolidado de propiedades y rangos establecidos.

3.2 Condiciones Operativas Iniciales.

Un lombricultivo puede establecerse en diversas configuraciones y haciendo uso de una gran variedad de sistemas y tipos de reactores. Para el presente proyecto se establecen las siguientes configuraciones basadas en disponibilidad de tiempo, tipo de sustrato y condiciones del ambiente, entre otras. Con el fin de favorecer la reproducción de la lombriz y el consumo de la materia orgánica.

3.2.1 Lombriz.

Para este proyecto se usó la lombriz roja californiana *Eisenia Foetida* por su comportamiento y requerimientos ambientales los cuales le permiten ser cultivada [7]. Esta especie es la más empleada para realizar lombricultivos y por lo tanto comercialmente la de mayor facilidad de adquisición. Según la ficha técnica elaborada por Lombricol [1] esta especie logra consumir 1 kg de humus por día, además de ser las que logran mayor longevidad entre las dos especies de lombrices rojas californianas. Es recomendado iniciar el cultivo con alrededor de 5kg de lombriz pura/m², que corresponde aproximadamente entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato [16].

3.2.2 Determinación de necesidad de precomposteo

El proceso de compostaje previo es usado para estabilizar la MO que será usada como sustrato para las lombrices y así lograr un acople entre el compost y el vermicompost al momento de inocular las lombrices. Este proceso controlado consiste en lograr la descomposición de la MO por acción de microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos bajo condiciones aerobias con el fin de obtener un abono llamado composta.

Se analiza el comportamiento de la producción de cocones, el desarrollo de juveniles y conversión de MO en función de las variables de control como lo son la T y pH para determinar la influencia del precompostaje en el proceso y si es requerido para la configuración de reactor que será acoplada.

La mayor conversión de residuos orgánicos se presenta en el rango de temperatura de 13°C a 22°C [17]. Como indica Acosta Et. Al en su informe, las temperaturas de descomposición del material orgánico en pila baja se registran entre los 37°C y 28°C al inicio y de 18,2°C al final y en Vermicompostaje se varían en un rango aceptable para las lombrices desde las 0 a las 8 semanas de precompostaje [18].

El comportamiento del pH es una variable que debe ser controlada por su influencia en la supervivencia y reproducción de las lombrices por lo cual debe ser verificado constantemente. De preferencia debe encontrarse entre 7 y 8 según [17], sin embargo, este puede oscilar entre 5 y 9 [19]. Se debe tener especial control en lo llegar a pH alcalinos debido a las reacciones catalizadas por microorganismos anaerobios facultativos que son responsables de la generación de dióxido de carbono, que puede pasar al ion bicarbonato y consecuentemente alcalinidad del medio como indica [20]. Con base a ensayos realizados por [20] se encuentran pH que incrementan desde 6 hasta 7 en vermicompostaje con 0 hasta 8 semanas de precompostaje [18].

Realizaron 9 vermicompostajes con MO sin precompostar y precompostada de 1 a 8 semanas para evaluar la influencia del precompostaje en la producción de cocones y el desarrollo de juveniles. En este estudio determinaron que aunque en el tratamiento con 1SPC se obtuvo mayor producción de cocones, no es necesario realizar un precompostaje debido a que en el tratamiento SSPC se obtuvo una buena producción de cocones.

Para el desarrollo de juveniles se determinó que no existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos para tratamientos precompostados entre 0,1,2,3 y 4 semanas pero si entre estos resultados y los obtenidos de los precompostajes de 5,6,7 y 8 semanas siendo estos últimos los de menores resultados. Esto puede deberse a la disminución en la disponibilidad del carbono lábil propia del progreso del compostaje [19].

Con base a la información obtenida se determina que para vermicompostajes menores de 50 cm de altura no es necesario realizar un precompostaje ya que los tratamientos de 0 a 2 semanas de compostaje obtienen los mejores resultados de

reproducción y a pesar de que sobresalen los resultados de los tratamientos entre 3-7 semanas de precompostaje en desarrollo de juveniles, estos no distan de los resultados obtenidos sin precompostar los residuos. Por lo que se recomienda iniciar el lombricultivo sin compostaje previo para este caso y así disminuir tiempos en el proceso

3.2.3 Materia orgánica

Castañeda menciona que las lombrices presentan una preferencia por sustancias ricas en azúcares sales y celulosa por lo que los residuos orgánicos vegetales como sustrato son un alimento ideal [21]. Un menor tamaño de partícula en este alimento facilita la ingesta por parte de las lombrices y por lo tanto una transformación en menor tiempo, Acosta menciona una reducción en el tamaño del alimento de 5 a 8 cm con el fin de mejorar los tiempos de conversión. [22] Se deberán alimentar las lombrices con sustrato similar al de siembra cada 8 a 10 días, dependiendo del estado del alimento y la velocidad con que es consumido [23].

3.2.4 Tipo de reactor

El lombricultivo deberá ser implementado en un reactor semicontinuo al cual se le adicionarán un primer pesaje de materia orgánica (MO) de manera discontinua y durante el mismo tiempo en el cual se efectúa la reacción será adicionado un segundo pesaje sin retirar el producto hasta haber adicionado 4 pesajes. Esto con el fin de darle una alimentación constante a las lombrices y a su vez posterior a la transformación de los 4 lotes de MO poder finalizar el proceso para medir los resultados obtenidos.

3.2.5 Parámetros

Entre los parámetros que se establecen para llevar a cabo el proyecto son: Temperatura, Humedad, pH. Se determinan rangos para controlar el comportamiento de cada uno de ellos usando referencias bibliográficas que permitieran estudiar los comportamientos y resultados obtenidos según los parámetros instaurados como se presentan en la tabla 9

Según Mamani en su proyecto identifica una influencia de la temperatura en el comportamiento reproductivo de la lombriz donde a temperaturas cercanas a 26,37°C (en capa solar) obtiene mayores resultados de apareamiento que en temperaturas cercanas a 17,81°C (bajo techo) [21]. Así también en el proyecto realizado por la unidad académica de la pampa [2] donde mantienen temperaturas entre 18°C y 21°C obteniendo como resultado una conversión de 98,33%³⁴ mientras que Torrendel mantiene una temperatura constante de 20°C y demuestra que a dicha temperatura el lombricultivo es viable en un variando en un amplio rango de pH [23]. Es por esto que se marca como rango ideal de operación en el lombricultivo temperaturas superiores a 15°C e inferiores a 27°C.

Con respecto al pH es posible determinar según los datos obtenidos por Torrendel en su estudio que a pH menor a 5 hay una elevada mortalidad de lombrices mientras que a pH entre 5 y 8 se logra una supervivencia de las mismas [23] por lo que se validan los parámetros de pH entre 7 y 9 usados por Paco [22] y de 7 a 8,5 en el estudio realizado para mitigar la contaminación por residuos sólidos provenientes del matadero en sucre [24] cabe mencionar la importancia de mantener los parámetros controlados en rangos más estrechos para evitar fallas y alteraciones en los comportamientos de la lombriz debidos a las diferencias de clima, sustrato suministrado y entorno. Es por esto que se marcan los rangos permitidos para el pH entre 6 y 8.

La humedad será de 80% para facilitar el desplazamiento y alimentación de la lombriz. En tres de los cuatro trabajos estudiados establecen la humedad en 80%, sin embargo, En el estudio realizado con residuos de matadero [24] la humedad oscila entre 50% y 60%. Este último dato es descartado por la divergencia entre los tipos de sustratos. Para el control de la humedad se realizaran riegos no programados sino únicamente con el fin de mantener la humedad en el % establecido.

Tabla 10.*Consolidación de revisión bibliográfica*

Artículo / Tesis	Configuración usada	Resultados obtenidos
<p>Mitigación de la contaminación por residuos sólidos de matadero y otros, mediante lombricultura, en la ciudad de Sucre.</p> <p>Leonor Castro, Apolonia Rodríguez, Humberto Balcazar. 2014</p>	<p>En este proyecto se evidencian pH de 8,5 a 8,0 durante las 6 primeras semanas, el cual se bajó con riegos; Y de 7,5 a 7,0 durante las últimas 4 semanas. Durante los riegos se mantuvo una humedad del 50 a 60%. Al igual que en las mediciones de pH, se observa una disminución semana tras semana. Manejan temperaturas de 58°C a 20°C con una disminución entre medidas de alrededor de 3° a 4°.</p>	<p>Al cabo de tres meses se obtuvieron 3,99Kg de lombrices por cada Kg de lombriz de la población inicial. La relación de obtención de humus es de 60Kg de humus por cada 100kg de alimento incorporado. En cuanto a las características del humus obtenido son: Relación C/N 10-11%, Nitrógeno 1-2,6%, Fósforo 2-8%, Potasio 1-2,5%, materia orgánica 30-70%, Carbono orgánico 14-30%, entre otros.</p>
<p>Comportamiento de la lombriz roja (<i>Eisenia spp.</i>) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos</p> <p>Mamani-Mamani Gladys, Mamani-Pati Francisco, Sainz-Mendoza Humberto, Villca-Huanaco René</p>	<p>En este trabajo se evaluó el comportamiento de la lombriz en un ambiente natural y en carpa solar con dos sustratos diferentes, estiércol vacuno y residuos de cocina. Se mantuvo una humedad relativa de 80% y temperaturas de 26,37°C y</p>	<p>Se obtuvo un mejor apareamiento de lombrices y eclosión de capsulas en temperaturas de carpa solar. Se observó un aumento en la mortalidad a conductividades eléctricas entre 3,0 y 5,37 dS m⁻¹. El vermicompost obtenido presenta pH en los rangos</p>

	17,81°C para CS y AN respectivamente.	neutro-alkalino. Para el uso de residuos sólidos de alimentos es recomendado realizar un buen proceso de disminución de partícula para facilitar la alimentación de las lombrices.
Efecto de la Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>) durante el compostaje y vermicompostaje en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa Paco Gabriel; Murguía Manuel; Mamani Francisco y Sainz Humberto.	Se usaron como sustratos pulpa de café, residuos de cocina y cartón. Para esta configuración se manejó un tamaño de partícula de 5 a 8 cm con humedad aproximada de 80% y manteniendo temperaturas entre 18°C y 21°C. Los pH promedio registrados durante las fases de compostaje se encuentran entre 7 y 9.	Se obtuvieron 446,00 kg de abono a partir de 1m ³ de sustrato, es decir, una conversión de 98,33%. Con una composición química tipificada como contenido bajo en N y P; medio en Mg y Ca; Alto en K presentando pH de alcalino a neutro y contenido de MO bajo.
La yerba no es basura: lombricultura y producción de Vermicompost a partir de residuos de yerba mate en Uruguay Torrendel, M. Useta, G. Pelerino, F.	Se mantuvieron temperaturas de 20°C y humedad de 80% variando el tiempo de compostaje entre 2, 3 y 4 semanas y analizando el comportamiento de la lombriz a diferentes valores de pH.	Los lombricultivos obtuvieron comportamientos reproductivos diferentes según el tiempo de compostaje del sustrato, para los de 2 semanas se observó una mortandad de lombrices, para los de 3

	<p>La yerba compostada por 2 semanas tuvo valores de pH de 4 en los primero 20 días, para compostajes de 3 semanas el pH se encontró en 5 y se obtuvieron valores de pH entre 7 y 8 para compostajes de 4 semanas.</p>	<p>semanas una correcta reproducción de las lombrices y las mejores características del abono obtenido y para los de 4 semanas una correcta reproducción de lombrices pero una calidad de abono menor a la obtenida en el de 3 semanas.</p>
--	--	---

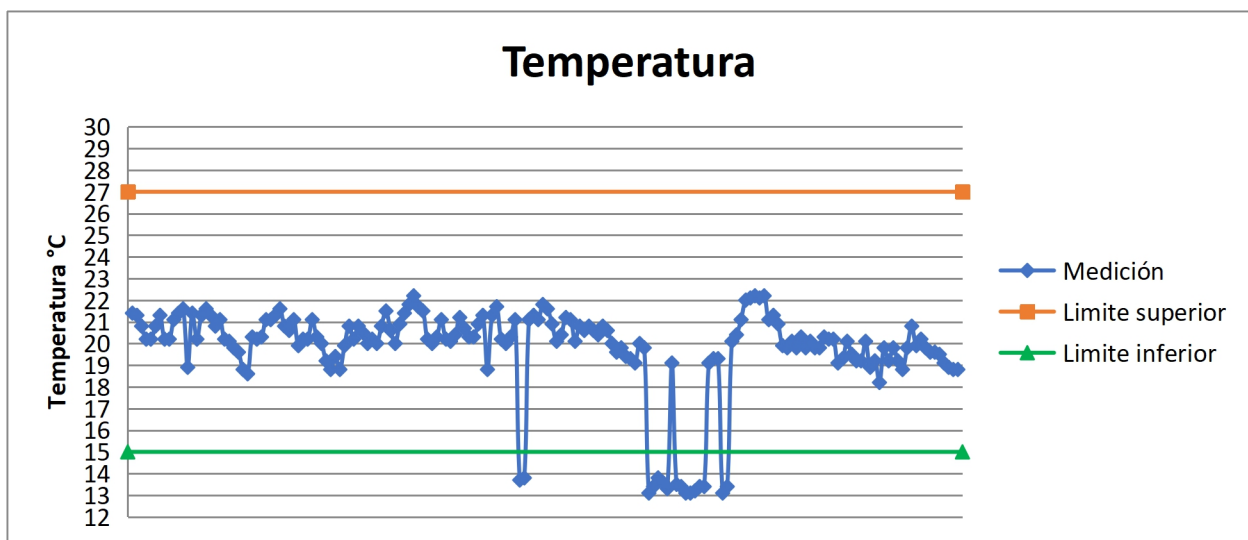
Nota. Consolidado de revisión bibliográfica realizada para determinar los parámetros operativos.

3.3 Seguimiento de Variables de Proceso

3.3.1 Temperatura

Figura 17.

Comportamiento de temperatura



Nota: Gráfica del comportamiento de la temperatura en el proceso

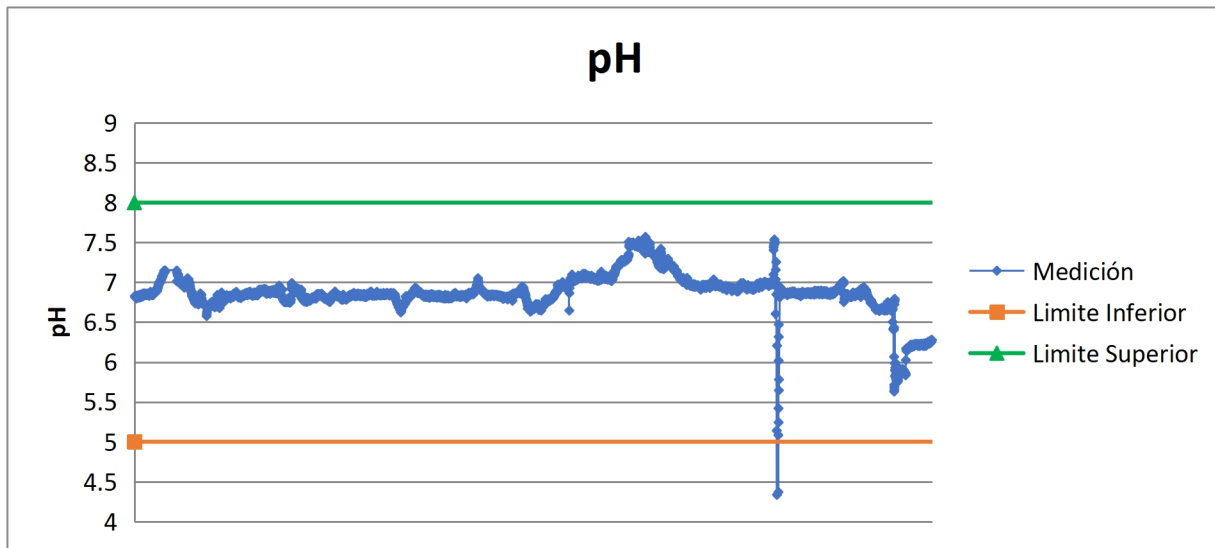
Durante el proceso de monitoreo se evidencia una falla en el sensor instalado para la medición de la temperatura por lo que se realiza en cambio del sensor y se aplica un polímero como aislante, sin embargo, no se obtiene mediciones provenientes de este sensor lo cual puede deberse al elevado porcentaje de humedad que se maneja, el cual provoca un corto circuito y daños en el sensor. Es por esto que se instala un termómetro de punzón y se establecen 4 momentos del día para realizar la toma de la medición cada 6 horas de esta manera: Mediciones a las 0:00, 6:00, 12:00 y 18:00 horas del día.

Se puede observar en la figura 17 un comportamiento de la temperatura que varía principalmente entre 19 °C y 22°C lo cual es un comportamiento deseado, sin embargo se registran bajas en la temperatura las cuales se atribuyen a una disminución en la temperatura del ambiente que según datos de la compañía meteorológica AccuWeather los cuales indican temperaturas mínimas registradas durante el mes de noviembre por debajo de los 12°C. Por lo cual se opta por aislar el lombricultivo con material orgánico como tuza de mazorca y cartón y se logra una nivelación en la medición en un rango entre 18°C y 20°C. Las disminuciones de temperatura también están asociadas al nivel de humedad de lombricultivo por los riegos realizados y no se registran incrementos fuera de los parámetros establecidos a causa de la actividad microbiana que permitan marcar las fases de descomposición de la materia orgánica por lo que no se requirieron medidas de control.

3.3.2 pH

Figura 18.

Comportamiento de pH



Nota. Gráfica del comportamiento del pH en el proceso

El comportamiento del pH a lo largo del proceso es estable en básico-alcalino, con un descenso a pH ácido de alrededor de 4,3 basado en el comportamiento manejado a lo largo del compostaje y las fechas de los bach de alimentaciones suministradas se establece que el descenso en la medición puede deberse a un fallo en la lectura de la sonda de pH por una baja humedad que afectó la lectura o por desajuste en la instalación del sensor durante una revisión del proceso.

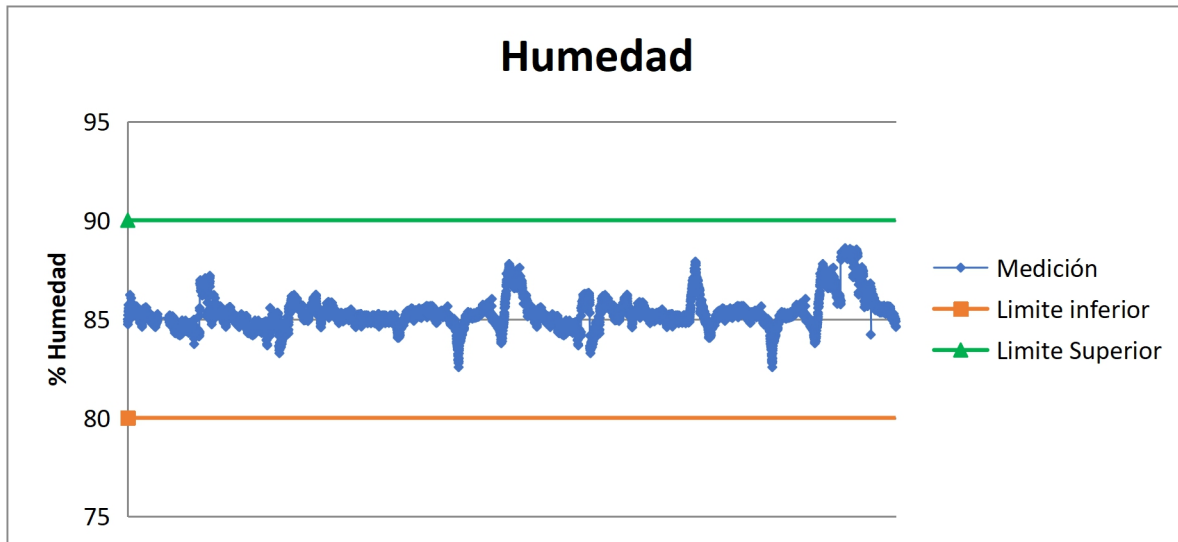
Una disminución del pH puede deberse a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica lábil liberándose ácidos orgánicos [27]. Apoyados en las medidas tomadas y la rápida disminución y normalización de la medida, se descarta esta alteración de la medida a causa de acción microbiana.

Al final del proceso se evidencia un descenso en el pH el cual se debe a que tras la ausencia de MO se da inicio al trampeo y extracción de las lombrices, en esta etapa se evidencian valores inferiores a 6 debido a los ácidos liberados.

3.3.3 Humedad

Figura 19.

Comportamiento de la humedad



Nota. Gráfica del comportamiento de la humedad en el proceso

Como se observa en la figura 19 el comportamiento de la humedad es inestable y a pesar de no sobrepasar los límites establecidos 80-90% se observan cambios drásticos entre las mediciones lo que inicialmente se puede atribuir a una oxidación en las plaquetas del sensor de humedad producida por los ácidos liberados durante el proceso de degradación de la MO. Debido a la importancia de la humedad en el proceso de descomposición se puede percibir que los riegos realizados durante el proceso fueron eficaces debido a que no sobrepasaron el límite superior y a causa de esto no se dio paso a una reacción anaerobia por ocupación de los poros de la MO. El límite inferior tampoco fue alcanzado, por lo que no se vio afectada la movilidad de las lombrices y por ende el proceso de alimentación y transformación de MO ni la actividad microbiana.

3.4 Obtención de Humus

Una vez finalizado el proceso de compostaje y separación del humus sólido es sometido a un proceso de secado hasta disminuir el contenido de humedad a 40% con el fin de producir una granulación del material que permita la separación por medio de tamices. Se usa un tamiz malla 6 de TYLER con abertura de 3.334mm y a partir de esto se obtiene un balance de gruesos y finos.

Ecuación 3.

Balance general del tamiz

$$A = F + G$$

Dónde:

A= alimentación

F= finos

G=gruesos

Ec. Balance general del tamiz

$$2.855\text{kg} = 1.715\text{kg} + 1.140\text{kg}$$

Con base en la alimentación y relaciones máxicas obtenidas se define la siguiente distribución del tamiz

Tabla 11.

Distribución del tamiz

Malla	X_i	X_{iA}
6	0,4	0,4
Fondo	0,6	1

Mientras que el lixiviado es sometido a una operación unitaria de separación de fases, en este caso de la fase sólido líquido. El medio filtrante usado fue una malla de poliéster con el fin de retener la mayor cantidad de sólidos en suspensión

Tabla 12.

Composición del lixiviado

Elemento	Peso (g)
Sólidos secos	8.52
Sólidos húmedos	28,23
Humus liquido	1490,49

Nota. descripción de los hallazgos del proceso de filtrado

A partir del secado realizado de la torta filtrada se determina el porcentaje de humedad retirado de la torta usando los pesos máxicos de los sólidos húmedos (sh) y sólidos secos (ss)

Ecuación 4.

De contenido de humedad

$$\frac{m_{sh} - m_{ss}}{m_{sh}} * 100 = \%H$$

Nota. Ecuación para determinar el contenido de humedad.

Dónde:

M_{sh} = masa de sólidos húmedos

M_{ss} = masa de sólidos secos

$$\%H = \frac{28,23g - 8,52g}{28,23g} * 100 = 69,82\%$$

Con el humus líquido obtenido del proceso de filtración se determina la densidad haciendo uso de una probeta de 100ml

Ecuación 5.

De densidad

$$d = \frac{m}{v} \rightarrow d = \frac{155,90g}{100ml} = 1,55g/ml$$

Nota. Ecuación usada para determinar le densidad de humus líquido.

Dónde:

d= densidad

m= masa

v= volumen

Figura 20.

Probeta con humus.



Nota. Peso de probeta con humus

4. EVALUACIÓN DE COSTOS A NIVEL BANCO

Una vez finalizado el proceso de compostaje y extraído los subproductos se realizó una evaluación de costos escalados a las necesidades de la plaza de mercado. Es por esto que se partió de la realización del diagrama de bloques para de esta manera determinar los equipos necesarios construyendo el diagrama PI&D. tomando como capacidad de la planta la generación total de residuos por parte de la plaza de mercado, se realiza la distribución mensual y se ajustan los costos a escala banco.

4.1 Diagrama de Proceso

El proceso es representado por medio del diagrama de bloques en el cual se describen las corrientes tanto de ingreso como de salida y su origen y destino en el proceso. Inicialmente al triturador ingresa la corriente de RO y una vez procesada esta se deposita en el reactor anaerobio donde se encuentran sembradas las lombrices como pie de cría. Al reactor se adiciona agua hasta alcanzar la humedad requerida por el proceso y una capa de tierra para aislar los malos olores y evitar atraer plagas.

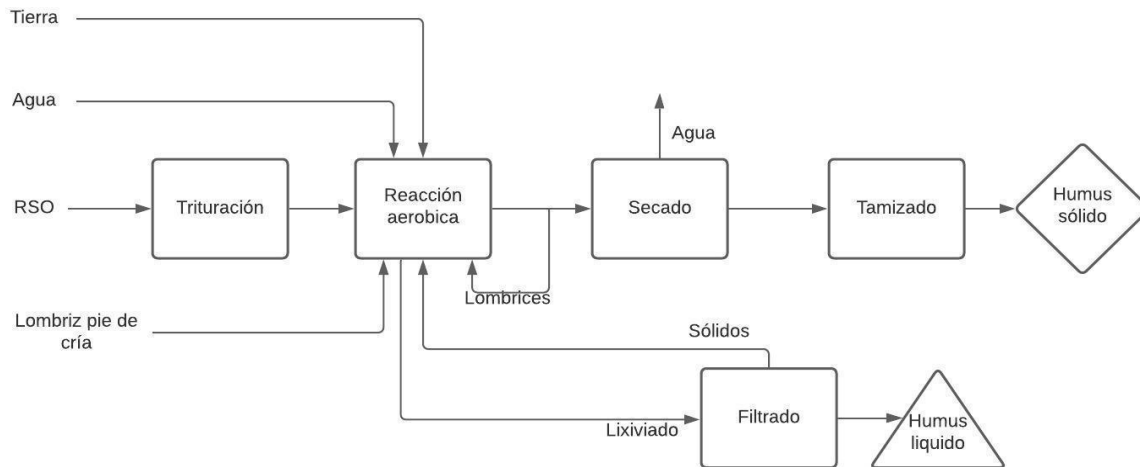
Como salidas del reactor, producto del proceso de conversión. Se tienen los lixiviados por fondos y el material sólido el cual se encuentra distribuido en humus de lombriz, tierra y lombrices. Cada una de estas corrientes de salida es sometida a un proceso de transformación para su aprovechamiento.

Los lixiviados son llevados a un proceso de filtración para retirar los sólidos en suspensión, la torta de sólidos retirada es recirculada al reactor mientras la corriente líquida queda lista para su aprovechamiento.

A la corriente sólida inicialmente se le retiran las lombrices para ser recirculadas al reactor y posteriormente pasar a un secador para disminuir la humedad hasta un 30% y pasar al proceso de tamizado donde se separan gruesos y finos a fin de obtener como producto final el humus sólido que atraviesa la malla 6.

Figura 21.

Diagrama de bloques



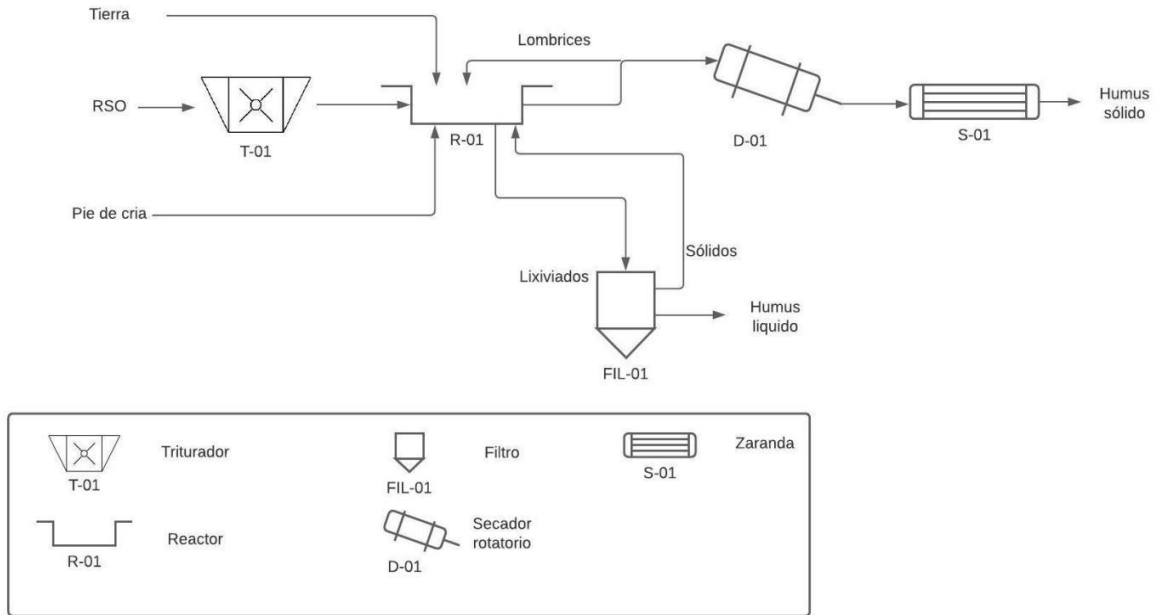
Nota. Diagrama de bloques que describe el proceso.

Una vez especificadas las operaciones unitarias requeridas en el proceso, se elabora el diagrama PI&D en el cual se incluyen los equipos asignados a cada una de las operaciones unitarias representadas en el anterior diagrama de bloques. Esto con el fin de realizar un costeo de equipos según sea el escogido para la operación y basado en las características del material a procesar y el producto de interés.

En este caso se toma una trituradora de residuos orgánicos especial para lograr un tamaño de partícula que facilite la transformación de la materia orgánica; para el secado se escoge un secador rotatorio, de esta forma lograr una granulación del material que facilite su tamizado usando una zaranda y para la separación del humus líquido se requiere usar un filtro que se conecta a la salida de los lixiviados del reactor (el cual se describe en el capítulo 1).

Figura 22.

Diagrama PI&D

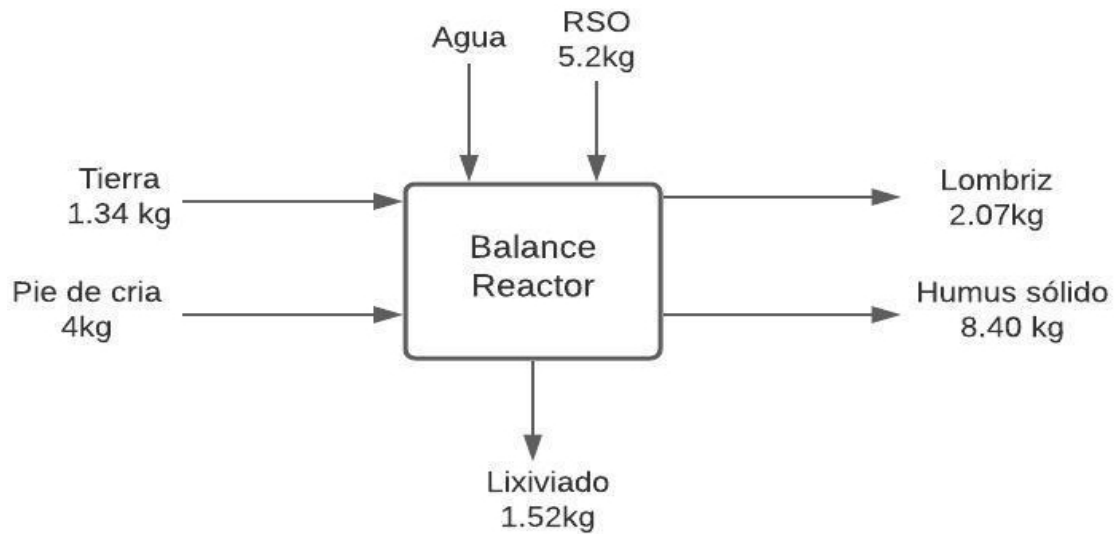


Nota. Diagrama PI&D que describe el proceso realizado.

4.2 Balance de Materia

Figura 23.

Balance de reactor



Nota. Balance de masa en el reactor.

Se realiza el balance de corrientes de entrada y salida descrito a continuación

Ecuación 6.

Ec balance de masa del reactor

$$m_A + m_{RSO} + m_T + m_{PC} = m_L + m_H + m_{LX}$$

Nota. Ecuación que describe el balance de las entradas y salidas

Dónde:

m_A = masa de agua

m_{RSO} = masa de RSO

m_T = masa de tierra

m_{PC} = masa de pie de cría

m_L = masa de lombriz

m_H = masa de humus

m_{LX} = masa de lixiviados

$$m_A + 5.2kg + 1.34kg + 4kg = 2.07kg + 8.40kg + 1.52kg$$

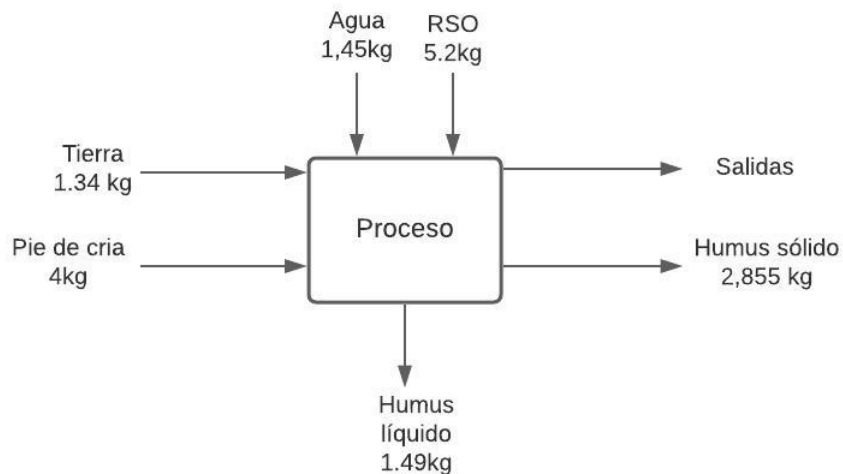
$$m_A = 2.07kg + 8.40kg + 1.52kg - 5.2kg - 1.34kg - 4kg$$

$$m_A = 1.45kg$$

Una vez determinada la masa de agua ingresada al reactor, se elabora el balance de masa global del proceso con el fin de determinar las pérdidas durante el proceso atribuidas al agua evaporada, las mermas que se producen a través de los procesos de transformación y limpieza de productos.

Figura 24.

Balance global



Nota. Balance de masa global.

Ecuación 7.

Ec balance de masa global

$$m_A + m_{RSO} + m_T + m_{pc} = m_{Hs} + m_{Hl} + m_s$$

Nota. Ecuación que describe el balance de las entradas y salidas

Dónde:

m_A = masa de agua

m_{RSO} = masa de RSO

m_T = masa de tierra

m_{PC} = masa de pie de cría

m_{Hs} = masa de humus sólido

m_{Hl} = masa de humus líquido

m_s = masa de salidas

$$m_{Hs} = 1,45 \text{ kg} + 5,2 \text{ kg} + 1,34 \text{ kg} + 4 \text{ kg} - 1,49 \text{ kg} - 2,85 \text{ kg}$$

$$m_{Hs} = 7,64 \text{ kg}$$

4.3 Dimensionamiento de Costos

Para el dimensionamiento de los costos se determinan los requerimientos de la plaza de mercado basados en información proporcionada por la misma plaza, según el manejo que le dan a los RSO. En la actualidad no tiene un programa de manejo integral ni separación, sin embargo, cuentan con dos contenedores en los cuales únicamente se depositan los RSO provenientes de los descargues y del material deteriorado en anaqueles por lo anterior es posible afirmar que la composición de los

material dispuesto en los contenedores es completamente aprovechable, mientras que el material que se encuentra en los recipientes de basura al interior de la plaza no se encuentra separado debido a que son residuos en su mayoría depositados por clientes de la plaza y no realizan una correcta disposición de los residuos. El promedio de material recolectado por la plaza diariamente oscila en los 24kg de los cuales 18kg pertenecen a los contenedores y 6kg pertenecen a las canecas dispuestas en la plaza para los clientes.

Tabla 13.

Tabla de información de manejo de RSO.

Cantidad recolectada diaria	Porcentaje de aprovechamiento	Cantidad aprovechable diaria	Cantidad aprovechable mensual
24 kg	75%	18 kg	540 kg

Nota. El porcentaje de aprovechamiento se calcula en la ecuación 8

Ecuación 8.

Ec. De porcentaje de aprovechamiento

$$\%Aprovechamiento = \frac{\text{material recolectado} - \text{material no aprovechable}}{\text{material recolectado}} * 100$$

Nota:

Calculo del porcentaje de aprovechamiento

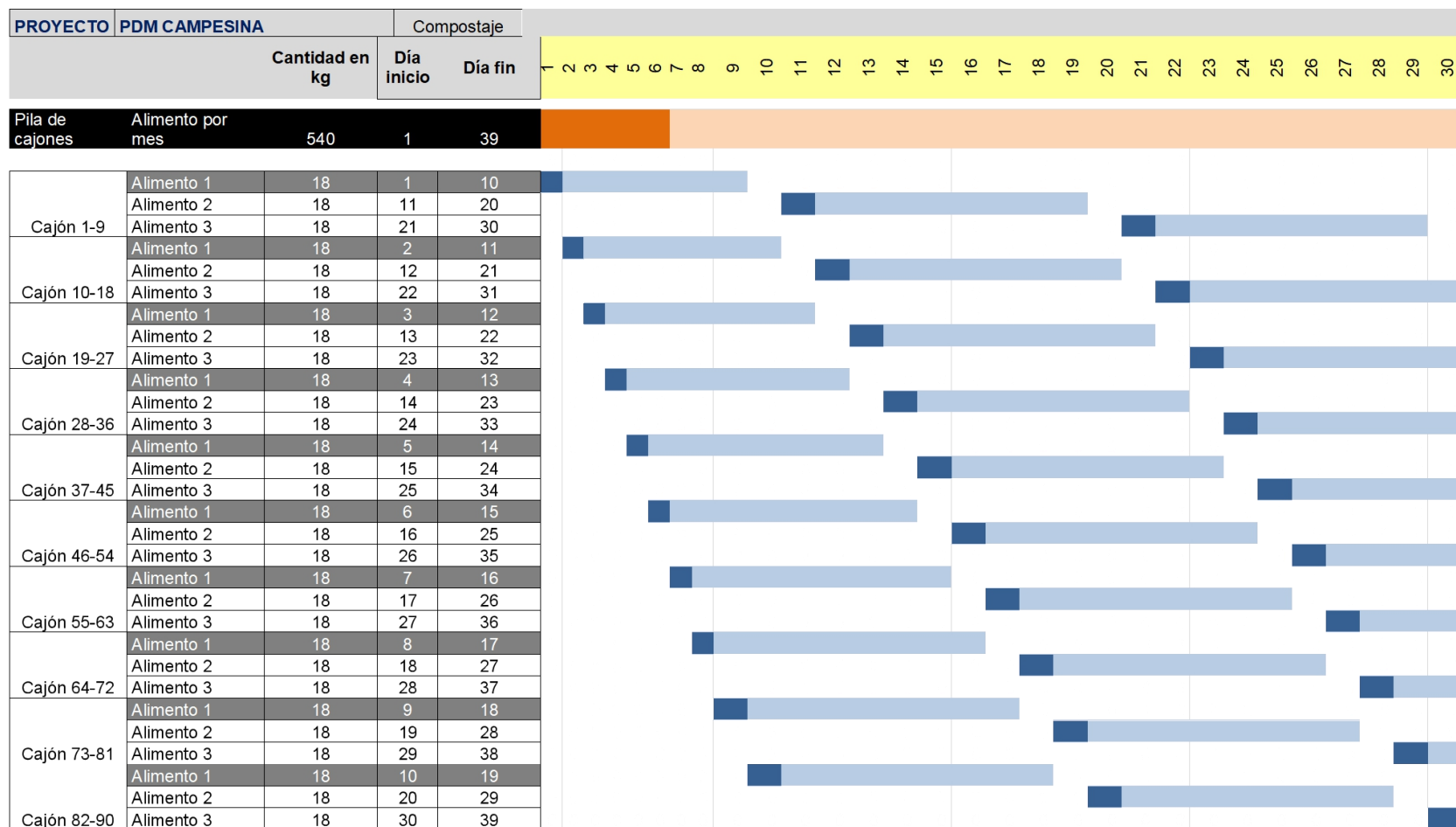
$$\%Aprovechamiento = \frac{24kg-6kg}{24kg} * 100 = 75\%$$

Nota. Porcentaje de aprovechamiento calculado basado en a la MO separable

Con base en la cantidad de MO aprovechable por mes se elabora una tabla de distribución en la cual se ajusta la capacidad por canastilla a la cantidad de RSO que se generan diarios y que están disponibles para ser aprovechados. Se establece el uso de 90 canastillas distribuidas en 10 pilas, es decir, se apilan 9 canastillas y cada una de ellas es alimentada con 2kg de RSO y se programa una alimentación cada 9 días de manera que cada día se alimenta una pila de 9 cajones como se muestra en la tabla 14

Tabla 14.

Distribución de alimentación por cajones



Nota. Muestra la alimentación de cada cajón vermicompostador y el tiempo de compostaje

Tabla 15.

Tabla de costos

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total mes
Canastilla fresera	U	90	\$ 3.000	\$ 270.000
Canastilla cerrada	U	10	\$ 4.000	\$ 40.000
Pie de cría	kg	360	\$ 7.000	\$ 2.520.000
Sensor de T	U	90	\$ 4.900	\$ 441.000
Sensor de pH	U	10	\$ 94.000	\$ 940.000
Sensor de humedad	U	90	\$ 5.000	\$ 450.000
Trituradora JRT200	U	1	\$ 1.240.000	\$ 1.240.000
Secadora	U	1	\$ 4.760.000	\$ 4.760.000
			TOTAL	\$ 10.661.000

Nota. Tabla de costos elaborada con base en los requerimientos y cotizaciones anexas

5. CONCLUSIONES

Los RSO provenientes de las plazas de mercado cumplen con las características apropiadas para ser usados como alimento para el lombricultivo por sus valores nutricionales, los contenidos de humedad que permiten la fácil digestión, por sus bajos contenidos de metales pesados y la adecuada relación C/N que hacen de estos residuos apropiados como materia prima sin requerir ajustes de composición ni significar riesgos para las lombrices

Se determinó que por el tamaño del lombricultivo y el tipo de MO usada no se requiere un compostaje previo, sin embargo, la dicha MO deberá ser preparada para facilitar su conversión con condiciones operativas de amplio rango de tolerancia para que ésta se vea favorecida, más que la producción de cocones y desarrollo de juveniles.

Las condiciones operativas propuestas fueron adecuadas para el lombricultivo debido a que el comportamiento de la MO durante su descomposición fue estable y de acuerdo a las mediciones realizadas de las variables temperatura, pH y humedad, los rangos fijados fueron adecuados y permitieron que las mediciones se mantuvieran dentro de los parámetros de control establecidos

Se determinaron los requerimientos técnicos según la capacidad de la plaza de mercado y los costos asociados a la producción de humus a escala banco con sensores integrados al proceso y su distribución de producción mensual.

Por medio del comportamiento medido de las variables de proceso, es posible afirmar que el compostaje de residuos sólidos orgánicos provenientes de plazas de mercado es estable y sus parámetros de operación pueden ser en un rango de control estricto de temperatura 18°C a 22°C; pH 6,5 a 7,5 y humedad de 83% a 89%.

Las pérdidas por salidas no definidas a lo largo del proceso se cuantifican en 1,64kg que equivalen a un 63,77% de las salidas globales

BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Tiempo, «El desafío para manejar las basuras en cuatro capitales de Colombia,» [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/situacion-de-los-rellenos-sanitarios-en-las-capitales-de-colombia-336912>[Acceso: octubre 2021]
- [2] CONSORCIO NAM Ltda. – VELZEA Ltda., 2008, «Gestión De Los Residuos Orgánicos En Las Plazas De Mercado De Bogotá,» [En línea]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/sda/Plazas.pdf>
- [3] H. Hermida, 2014, «Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo,» Universidad Central, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341477255_Plazas_de_mercado_en_Bogota_generadoras_de_residuos_y_desarrollo
- [4] R. Martínez, «Los peligros de los fertilizantes químicos,» *Bioeco actual*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.bioecoactual.com/2018/02/21/los-peligros-los-fertilizantes-quimicos/#:~:text=Los%20efectos%20de%20los%20fertilizantes,sobre%20los%20que%20se%20aplican>
- [5] D. Cortes y L. Dejoy, «Evaluación del impacto ambiental generado por la disposición de residuos sólidos orgánicos en la quebrada la unión sección finca Grajales, cuenca del río Cauca, municipio de la Unión,» Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/85100.pdf>
- [6] G. Jaramillo y L. Zapata, «Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia,» Universidad de Antioquia, Medellín, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- [7] Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, «Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura,» 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

- [8] Unidad Administrativa especial de servicios publicos, «Programa para la gestión de residuos sólidos orgánicos para la Ciudad de Bogotá D.C Versión 2,» Marzo 2010. [En línea]. Available: http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/programaorganicos.pdf.
- [9] J. Garavito, N. Morales y A. Chavez, «Descripción de metodologías del sistema de lombricultura para gestión de residuos sólidos orgánicos,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogota D.C, 2002. [En línea]. Disponible en: https://www.umng.edu.co/documents/10162/745277/V2N1_7_RES.pdf
- [10] J. Beltrán y C. Beltrán, «Diseño del montaje de un proyecto productivo de lombricultura y compostaje para la institución educativa Miguel Samper Agudelo del municipio de Guaduas Cundinamarca,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas , Bogotá D.C, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/1447>
- [11] K. Siatoya y A. Yiovann, «Aprovechamiento de los residuos generados en la plaza de mercado de corabastos para la elaboración de productos de valor agregado: contexto actual, perspectiva y posibles soluciones,» Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/6708>
- [12] M. Forero y A. Sánchez, «Desarrollo de la ingeniería conceptual del proceso de producción de biogás mediante los residuos orgánicos provenientes de la plaza distrital de mercado siete de agosto,» Universidad de América, Bogotá DC, 2017. [En línea].Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6370>
- [13] D. Avendaño, J. Ladino, P. Acevedo y I. Cabeza, «PRODUCCIÓN DE BIOHIDRÓGENO MEDIANTE FERMENTACIÓN OSCURA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE UNA PLAZA DE MERCADO EN BOGOTÁ COLOMBIA,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19016/2019diegoavendano.pdf?sequence=12&isAllowed=y>.
- [14] J. Guevara, «SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL MERCADO MUNICIPAL DE SANGOLQUÍ, PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS,» Agosto 2018. [En línea].

- Available:
https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3175/1/JOHN%20GUEVERA%20Tesis_MGA_Concluida.pdf.
- [15] B. e. al., «Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba,» Octubre 2016. [En línea]. Available:
https://www.researchgate.net/profile/Hannibal_Brito/publication/309751008_Obtencion_De_Compost_A_Partir_De_Residuos_Solidos_Organicos_Generados_En_El_Mercado_Mayorista_Del_Canton_Riobamba/links/589809db92851c8bb67f0b00/Obtencion-De-Compost-A-Partir-De-Res.
- [16] M. Dávila y C. Ramírez, «lombricultura en pulpa de café,» Marzo 1996. [En línea]. Available:
http://kimera.com/data/redlocal/ver_demos/RLCF/RECURSOS/BIBLIOTECA%20CAFETERA/Z%20-%20CENICAFE%20AVANCES%20TECNICOS/AT%20225ok%20lombricultura%20pulpa%20cafe.pdf.
- [17] J. Donovan, «Engineering assessment of vermicomposting municipal wastewater sludges,» Junio 1981. [En línea]. Available:
https://books.google.com.co/books?id=mQ-uk85NtUQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- [18] C. Acosta, O. Solís, O. Villegas y L. Cardoso, «Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*,» 2013. [En línea]. Available: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242013000100010&script=sci_arttext.
- [19] M. Schuldt, R. Christiansen, L. A. Scatturice y J. P. Mayo, «Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie,» *REDVET*, p. Vol VIII, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612734015.pdf>

- [20] L. e. al., «Evaluación de la densidad de población de la lombriz compostera (*Eisenia andrei Savigni*),» 2003. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221503>.
- [21] M. G. E. al, «Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia spp.*) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos,» 2012. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942012000100005&script=sci_arttext.
- [22] P. E. al., «Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa,» Febrero 2012. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942011000200004&script=sci_arttext.
- [23] M. U. G. P. F. Torrendel, «La yerba no es basura: lombricultura y producción de Vermicompost a partir de residuos de yerba mate en Uruguay,» 30 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <https://83.166.144.101/index.php/INNOTECA/article/view/34/29>.
- [24] L. Castro, A. Rodriguez y H. Balcazar, «Mitigación de la contaminación por residuos sólidos de matadero y otros, mediante lombricultura, en la ciudad de Sucre,» 27 Junio 2014. [En línea]. Available: https://ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones_de_la_Ingenieria/Aplicaciones-de-la-Ingenieria-22-35.pdf.
- [25] W. Acosta y M. Peralta, «Elaboración De Abonos Orgánicos A Partir Del Compostaje De Residuos Agrícolas En El Municipio De Fusagasugá,» Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1234/EL-ABORACION-C3%93N%20DE%20ABONOS%20ORG-C3%81NICOS%20A%20PARTIR%20DEL%20COMPOSTAJE%20DE%20R.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] M. Gómez, «Propuesta en el Manejo Sostenible de Residuos Sólidos Orgánicos en Plaza de Mercado,» Univeresidad Santo Tomás, Bucaramanga, 2016.[En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/9221>

- [27] J. Clavijo, «grado Estudio De Factibilidad Para La Creación De Una Empresa Para La Obtención De Abono Orgánico Mediante La Transformación De Residuos Orgánicos A Base De La Lombricultura “Humus”,» Universidad América, Bogotá DC, 2017.[En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6513/1/3081019-2017-2-II.pdf>
- [28] C. Rico y J. Leguizamo, «Evaluación de tecnologías (compostaje, lombricultura y bokashi) para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del municipio de puerto gaitán-meta,» Universidad Santo Tomás, Villavicencio, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6513/1/3081019-2017-2-II.pdf>
- [29] M. Gómez, «Propuesta en el Manejo Sostenible de Residuos Sólidos Orgánicos en Plaza de Mercado (caso: plaza de mercado La Concordia),» Universidad Santo Tomás , Bucaramanga, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/9221>
- [30] IDEAM, «PRINCIPALES NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO DEL REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL – RUA –,» [En línea]. Available: <https://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/Anexo-1-Marco-Juridico-RUA-Manufacturero.pdf>.
- [31] Earth Green, «Normatividad Earth Green,» [En línea]. Available: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/Normatividad.pdf>.
- [32] Alcaldía de Bogotá, «Documentos para RESIDUOS SÓLIDOS, Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS,» [En línea]. Available: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=20743>.
- [33] Manual de Lombricultura, «Vocabulario: Manual de lombricultura,» [En línea]. Available: <https://www.manualdelombricultura.com/>.
- [34] S. Maldonado, «Lombricultura: Una alternativa productiva. Caso específico: Finca MAMAIA,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7359?locale-attribute=it>

- [35] M. Castelo, «Diseño, puesta en marcha y monitoreo de reactores anaerobios escala laboratorio para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes del mercado central de Tumbaco,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1575/1/103462.pdf>.
- [36] Y. Rodríguez y A. Francisco, «CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE MERCADOS EN SANTO DOMINGO OESTE, PROVINCIA SANTO DOMINGO, (2),» Enero 2011. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87019755006.pdf>.
- [37] M. Huamán, «Concentración de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio en el compost Concentración de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio en el compost residences of Huaraz-Ancash,» *Aporte Santiaguino*, Julio 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7178734>
- [38] B. e. al., «LA DIGESTIÓN ANAEROBIA COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MERCADOS MUNICIPALES,» México, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32527>
- [39] B. e. al., «UTILIZACIÓN DE SUPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA TEQUILERA. PARTE 7. COMPOSTAJ E DE BAGAZO DE AGAVE Y VINAZAS TEQUILERAS,»[En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n4/v29n4a8.pdf>

GLOSARIO

Alimento o sustrato: medio, alimento que compone los lechos o sectores del vermicultivo.

C/N: relación de carbono con respecto al nitrógeno que debe cumplir el alimento o sustrato. Estas proporciones caracterizan a las distintas materias orgánicas y nos permiten anticipar como combinarlas para que se descompongan adecuadamente.

Cocón: puesta, capullo, que contiene los embriones, lombricitas, que viven de un líquido que lo llena. No es un huevo (los huevos son puestos dentro del cocón).

Cultivo: practica de cultivar lombrices para lograr su reproducción.

Humus: fertilizante orgánico resultado de la degradación de la materia orgánica por la acción de las lombrices

Lobricompostaje / Vermicompostaje: proceso de formación de compost que se acopla sembrando o permitiendo el ingreso de lombrices a la pila de MO en descomposición.

Materia orgánica biodegradable: se refiere a MO (materia orgánica) que puede ser atacada y reducida (descompuesta) por los seres vivos.

Pie de cría: son las primeras lombrices con las cuales se da inicio a un lombricultivo.

Pila: en Lombricultura: Referido a Materia Orgánica (MO) biodegradable estibada (apilada), conformando montones.

Trampeo: técnica para recolectar lombrices de una cama

ANEXOS

ANEXO 1.

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN WEMOS MINI

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
float ph;
float celsius;
int humedad;
int porcentajeHumedad;
float trtem,trhum;
char cadena[30];
byte posicion=0;
char cadena1[31];
BlynkTimer timer;
char auth[] = "0d3XT66HZEHrlwoztYnUrWIREQkCsbMb";
char ssid[] = "RED HOGAR";
char pass[] = "3023975916";
BLYNK_WRITE(V4)
{
  long startTimeInSecs=param[0].asLong();
  Serial.println("tiempo en s: ");
  Serial.println(startTimeInSecs);
  Blynk.email("mariana.r.gomez@hotmail.com", "TESIS: pH",ph);
  delay(6000);
  Blynk.email("mariana.r.gomez@hotmail.com", "TESIS:
Humedad",porcentajeHumedad);
  delay(6000);
  Blynk.email("mariana.r.gomez@hotmail.com", "TESIS: Temperatura",celsius);
}
BLYNK_WRITE(V5)
```

```

{
  long startTimelnSecs=param[0].asLong();
  Serial.println("tiempo en s: ");
  Serial.println(startTimelnSecs);
  Blynk.email("mariana.r.gomez@hotmail.com", "TESIS: pH",ph);
  delay(6000);
  Blynk.email("mariana.r.gomez@hotmail.com", "TESIS:
Humedad",porcentajeHumedad);
  delay(6000);
  Blynk.email("mariana.r.gomez@hotmail.com", "TESIS: Temperatura",celsius);
}
void tramas()
{
  memset(cadena, 0,sizeof(cadena));
  if(Serial.available())
  {
    while(Serial.available(>0)
    {
      delay(5);
      cadena[posicion]=Serial.read();
      posicion++;
    }
    for(int i=0;i<31;i++)
    {
      cadena1[i]=cadena[i+1];
    }
    if(cadena[0]=='a')
    {
      trtem=atoi(cadena1);
    }
    else if(cadena[0]=='b')

```

```

        {
            trhum=atoi(cadena1);
        }
        posicion=0;
    }
}
void pH()
{
    int measure = 0;
    int prom = 0;
    int lec_ph = 0;
    for(int i=0;i<50;i++)
    {
        lec_ph = analogRead(A0);
        prom = prom + lec_ph;
        delay(70);
    }
    prom = prom/50;
    float millivolts_ph = (prom / 1024.0) * 3300;
    ph=(millivolts_ph*(-0.006006))+22.6000;
    Serial.print("PH: ");
    Serial.print(ph);
    Serial.println("");
    Blynk.virtualWrite(V2, ph);
}
void temperatura()
{
    int lec_temp= trtem;
    float millivolts= (lec_temp/1024.0) * 5000;
    celsius= (millivolts/10)+2.4;
    Serial.print("trtem: ");Serial.println(trtem);
}

```

```

    Serial.print(celsius);
    Serial.println(" degrees Celsius, \n");
    Blynk.virtualWrite(V1, celsius);
}
void fhumedad()
{
    humedad=trhum;
    porcentajeHumedad=map(humedad,1023,0,0,100);
    Serial.print("trhum: ");Serial.println(trhum);
    Serial.print("humedad en porcentaje: ");
    Serial.print(porcentajeHumedad);
    Serial.println("%");
    Blynk.virtualWrite(V3, porcentajeHumedad);
}
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.begin(9600);
    Blynk.begin(auth, ssid, pass);
    Blynk.begin(auth, ssid, pass);
    // timer.setInterval(1000,tramas);
    timer.setInterval(1000, temperatura);
    timer.setInterval(1000,pH);
    timer.setInterval(1000,fhumedad);
}
void loop()
{
    timer.run();
    Blynk.run();
    tramas();
}

```


ANEXO 2.

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
int te=0;
int ti=0;
void loop()
{
  for(int i=0;i<101;i++)
  {
    te =analogRead(A1)+te;
  }
  te=te/100;

  Serial.write("a");
  Serial.println(te);
  delay(1500);
  ti =analogRead(A2);
  Serial.write("b");
  Serial.println(ti);
  delay(1500);
}
```

ANEXO 3.

TABULACIÓN INFORMACIÓN DE TEMPERATURA

Hora	fecha	T
6:00:00	16/10/2020	21.4
12:00:00	16/10/2020	21.3
18:00:00	16/10/2020	20.8
0:00:00	16/10/2020	20.2
6:00:00	17/10/2020	20.2
12:00:00	17/10/2020	20.8
18:00:00	17/10/2020	21.3
0:00:00	17/10/2020	20.2
6:00:00	18/10/2020	20.2
12:00:00	18/10/2020	21.1
18:00:00	18/10/2020	21.4
0:00:00	18/10/2020	21.6
6:00:00	19/10/2020	18.9
12:00:00	19/10/2020	21.4
18:00:00	19/10/2020	20.2
0:00:00	19/10/2020	21.3
6:00:00	20/10/2020	21.6
12:00:00	20/10/2020	21.3
18:00:00	20/10/2020	20.8
0:00:00	20/10/2020	21.1
6:00:00	21/10/2020	20.2
12:00:00	21/10/2020	20.1
18:00:00	21/10/2020	19.8
0:00:00	21/10/2020	19.6
6:00:00	22/10/2020	18.8
12:00:00	22/10/2020	18.6

Hora	fecha	T
18:00:00	7/11/2020	21.6
0:00:00	7/11/2020	20.9
6:00:00	8/11/2020	20.1
12:00:00	8/11/2020	20.4
18:00:00	8/11/2020	21.2
0:00:00	8/11/2020	21.1
6:00:00	9/11/2020	20.1
12:00:00	9/11/2020	20.8
18:00:00	9/11/2020	20.6
0:00:00	9/11/2020	20.8
6:00:00	10/11/2020	20.6
12:00:00	10/11/2020	20.4
18:00:00	10/11/2020	20.8
0:00:00	10/11/2020	20.6
6:00:00	11/11/2020	20
12:00:00	11/11/2020	19.6
18:00:00	11/11/2020	19.8
0:00:00	11/11/2020	19.4
6:00:00	12/11/2020	19.3
12:00:00	12/11/2020	19.1
18:00:00	12/11/2020	20
0:00:00	12/11/2020	19.8
6:00:00	13/11/2020	13.1
12:00:00	13/11/2020	13.4
18:00:00	13/11/2020	13.8
0:00:00	13/11/2020	13.6

18:00:00	22/10/2020	20.3
0:00:00	22/10/2020	20.2
6:00:00	23/10/2020	20.3
12:00:00	23/10/2020	21.1
18:00:00	23/10/2020	21.1
0:00:00	23/10/2020	21.3
6:00:00	24/10/2020	21.6
12:00:00	24/10/2020	20.8
18:00:00	24/10/2020	20.6
0:00:00	24/10/2020	21.1
6:00:00	25/10/2020	19.9
12:00:00	25/10/2020	20.2
18:00:00	25/10/2020	20.2
0:00:00	25/10/2020	21.1
6:00:00	26/10/2020	20.3
12:00:00	26/10/2020	20
18:00:00	26/10/2020	19.2
0:00:00	26/10/2020	18.8
6:00:00	27/10/2020	19.4
12:00:00	27/10/2020	18.8
18:00:00	27/10/2020	19.9
0:00:00	27/10/2020	20.8
6:00:00	28/10/2020	20.2
12:00:00	28/10/2020	20.8
18:00:00	28/10/2020	20.5
0:00:00	28/10/2020	20
6:00:00	29/10/2020	20.2
12:00:00	29/10/2020	20
18:00:00	29/10/2020	20.8
0:00:00	29/10/2020	21.5

6:00:00	14/11/2020	13.3
12:00:00	14/11/2020	19.1
18:00:00	14/11/2020	13.5
0:00:00	14/11/2020	13.4
6:00:00	15/11/2020	13.1
12:00:00	15/11/2020	13.1
18:00:00	15/11/2020	13.2
0:00:00	15/11/2020	13.4
6:00:00	16/11/2020	13.4
12:00:00	16/11/2020	19.1
18:00:00	16/11/2020	19.3
0:00:00	16/11/2020	19.3
6:00:00	17/11/2020	13.1
12:00:00	17/11/2020	13.4
18:00:00	17/11/2020	20.1
0:00:00	17/11/2020	20.4
6:00:00	18/11/2020	21.1
12:00:00	18/11/2020	22
18:00:00	18/11/2020	22.1
0:00:00	18/11/2020	22.2
6:00:00	19/11/2020	22.1
12:00:00	19/11/2020	22.2
18:00:00	19/11/2020	21.1
0:00:00	19/11/2020	21.3
6:00:00	20/11/2020	20.9
12:00:00	20/11/2020	19.9
18:00:00	20/11/2020	19.8
0:00:00	20/11/2020	20.1
6:00:00	21/11/2020	19.8
12:00:00	21/11/2020	20.3

6:00:00	30/10/2020	20.6
12:00:00	30/10/2020	20
18:00:00	30/10/2020	20.9
0:00:00	30/10/2020	21.4
6:00:00	31/10/2020	21.8
12:00:00	31/10/2020	22.2
18:00:00	31/10/2020	21.7
0:00:00	31/10/2020	21.5
6:00:00	1/11/2020	20.2
12:00:00	1/11/2020	20
18:00:00	1/11/2020	20.3
0:00:00	1/11/2020	21.1
6:00:00	2/11/2020	20.2
12:00:00	2/11/2020	20.1
18:00:00	2/11/2020	20.4
0:00:00	2/11/2020	21.2
6:00:00	3/11/2020	20.7
12:00:00	3/11/2020	20.3
18:00:00	3/11/2020	20.3
0:00:00	3/11/2020	20.9
6:00:00	4/11/2020	21.3
12:00:00	4/11/2020	18.8
18:00:00	4/11/2020	21.3
0:00:00	4/11/2020	21.7
6:00:00	5/11/2020	20.2
12:00:00	5/11/2020	20
18:00:00	5/11/2020	20.3
0:00:00	5/11/2020	21.1
6:00:00	6/11/2020	13.7
12:00:00	6/11/2020	13.8

18:00:00	21/11/2020	19.8
0:00:00	21/11/2020	20.1
6:00:00	22/11/2020	19.8
12:00:00	22/11/2020	19.8
18:00:00	22/11/2020	20.3
0:00:00	22/11/2020	20.2
6:00:00	23/11/2020	20.2
12:00:00	23/11/2020	19.1
18:00:00	23/11/2020	19.3
0:00:00	23/11/2020	20.1
6:00:00	24/11/2020	19.5
12:00:00	24/11/2020	19.2
18:00:00	24/11/2020	19.2
0:00:00	24/11/2020	20.1
6:00:00	25/11/2020	18.9
12:00:00	25/11/2020	19.2
18:00:00	25/11/2020	18.2
0:00:00	25/11/2020	19.8
6:00:00	26/11/2020	19.2
12:00:00	26/11/2020	19.8
18:00:00	26/11/2020	19.2
0:00:00	26/11/2020	18.8
6:00:00	27/11/2020	19.8
12:00:00	27/11/2020	20.8
18:00:00	27/11/2020	19.9
0:00:00	27/11/2020	20.2
6:00:00	28/11/2020	19.8
12:00:00	28/11/2020	19.6
18:00:00	28/11/2020	19.6
0:00:00	28/11/2020	19.5

18:00:00	6/11/2020	21.1
0:00:00	6/11/2020	21.3
6:00:00	7/11/2020	21.1
12:00:00	7/11/2020	21.8

6:00:00	29/11/2020	19.1
12:00:00	29/11/2020	18.9
18:00:00	29/11/2020	18.8
0:00:00	29/11/2020	18.8

ANEXO 4.

COTIZACIÓN DE LOMBRICES

Compra #4102632824 - 17 de octubre

Resumen de compra	
Pago de 4 productos	\$28.000
<hr/>	
Tu pago	\$28.000

Compraste

Entregado

Llegó el 19 de octubre



Lombriz Roja Californiana Por Kiio
En Colombia
\$7.000⁰⁰ x 4 unidades

Nota: Foto tomada de compra mercado libre

ANEXO 5.

COTIZACIÓN DE SENSOR DE TEMPERATURA



LM35 SENSOR DE TEMPERATURA

4.900,00 COP

El LM35 es un sensor de temperatura de salida analoga. Posee un rango de trabajo desde -55°C hasta 150°C. Su salida es lineal con una pendiente de 10mV/°C. El sensor es calibrado de fábrica a una precisión de 0.5°C

Cantidad

 **Agregar al Carrito**

Nota: foto tomada de página web zamux. Disponible en <https://zamux.co/es/sensores/381-lm35.html>

ANEXO 6.

COTIZACIÓN SENSOR DE HUMEDAD



¡EN OFERTA!

SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO YL69

5.000,00 COP

Sensor de humedad en suelos, salida digital y análoga e indicación de activación digital con ajuste de sensibilidad. También puede emplearse para detectar inundación o nivel máximo en un tanque. Incluye 2 cables de conexión hembra-hembra y modulo comparador YI38.

Cantidad

 Agregar al Carrito

 Producto Disponible

Nota: foto tomada de página web zamux. Disponible en <https://zamux.co/es/ofertas/195-sensor-de-humedad-suelo-yl69.html>

ANEXO 7.

COTIZACIÓN SENSOR DE pH



SENSOR DE PH

94.000,00 COP


Kit medidor de pH con placa controladora compatible con Arduino

Cantidad

1



 **Agregar al Carrito**

 **Últimas unidades en stock**

Nota: foto tomada de página web zamux. Disponible en <https://zamux.co/es/ofertas/1001-sensor-de-ph-.html>

ANEXO 8.

COTIZACIÓN TRITURADORA



★★★★★ (4 valoraciones de clientes)

**Triturador de Residuos Orgánicos
JTR200 con Motor Eléctrico Trapp**

~~₡1.550.000~~ **₡1.240.000**

Nota: foto tomada de página web Durespo. Disponible en <https://www.durespo.com/producto/triturador-de-residuos-organicos-jtr200-con-motor-electrico/>

ANEXO 9.

COTIZACIÓN SECADORA



Secadora De Café 20@

Categoría: Secado

\$4.760.000

Marca: Penagos

Presentación: Unidad

Compra mínima: 1

Cotización mínima: 1

+ Añadir al carrito

+ Quiero cotizar

↗ Contacta al vendedor

Nota: foto tomada de página web croper.com. Disponible en <https://www.croper.com/31-penagos/23-maquinaria-agricola/3230-secado/4408-secadora-de-cafe-20-sc-20>

ANEXO 10.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio de caso para determinar si factores externos como los tipos de cosecha afectan los rendimientos del lombricultivo
- Realizar una campaña de capacitación y concientización de manejo de residuos sólidos para lograr un mayor aprovechamiento de los residuos dispuestos por la plaza de mercado
- Hacer uso de sensores de mayor resistencia para tener un proceso controlado por completo
- Determinar los costos operativos y energéticos
- Realizar un análisis financiero para determinar la rentabilidad del proyecto