UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA

CARRERA DE INGENIERIA

AMBIENTAL

Denominación del título a obtener

INGENIERO AMBIENTAL

Título del Proyecto de Investigación

"EFICIENCIA DE TRES DENSIDADES POBLACIONALES DE LOMBRICES ROJAS CALIFORNIANAS, PARA LA DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA APROVECHABLE DEL MERCADO COMITÉ DEL PUEBLO''.

AUTOR:

CURIPALLO JEREZ DAVID ALEXANDER

FALCÓN AYO FRANKLIN ANDRÉS

DIRECTOR:

Ing. Pablo Arias MsC.

PUYO – ECUADOR

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben Curipallo Jerez David Alexander y Falcón Ayo Franklin Andrés con C.I 1805149547 y 1724154560 hacen constar que son autores del Proyecto de Investigación titulado:

"Eficiencia de tres densidades poblacionales de lombrices rojas californianas, para la descomposición de materia orgánica aprovechable del Mercado Comité del Pueblo", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Ing. Pablo Ernesto Arias MsC. En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 7 días del mes de julio del 2021.





David Curipallo

CI:1805149547

Andrés Falcón

CI:1724154560

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación titulado: “Eficiencia de tres densidades poblacionales de lombrices rojas californianas, para la descomposición de materia orgánica aprovechable del Mercado Comité del Pueblo”.



Firmado electrónicamente por:
PAOLA ALEJANDRA VILLALON MUNOZ

Dra. Paola Alejandra Villalón Muñoz Mgs.

Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO NICOLAS AGUIAR NOVILLO

Ing. Santiago Nicolás Aguiar Novillo MsC.

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
MIGUEL ANGEL ENRIQUEZ ESTRELLA

Ing. Miguel Ángel Enríquez Estrella Mg.

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente Ing. Pablo Ernesto Arias MsC, con CI:1600220303 certifica que el Proyecto de Investigación titulado: "Eficiencia de tres densidades poblacionales de lombrices rojas californianas, para la descomposición de materia orgánica aprovechable del Mercado Comité del Pueblo", ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 9%.

En el cantón Pastaza, a los 7 días del mes de Julio del 2021.

Firmado digitalmente por PABLO ERNESTO ARIAS

Fecha: 2021.07.06 06:11:30 -05'00'

Ing. Pablo Ernesto Arias MsC.

Director del Proyecto de Investigación

Declaración de autenticidad

Nosotros, Curipallo Jerez David Alexander y Falcón Ayo Franklin Andrés declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.





DAVID CURIPALLO

No. Cédula:1805149547

ANDRÉS FALCÓN

No. Cédula: 1724154560

AGRADECIMIENTO I

A Dios por brindarme sabiduría, acompañarme en cada paso de mi vida, darme salud y la fortaleza necesaria para lograr mis objetivos.

A la Universidad Estatal Amazónica, especialmente a la Carrera de Ingeniería Ambiental por darme la oportunidad de obtener una profesión y brindar mis conocimientos a la sociedad.

Al director de proyecto Ing. Pablo Ernesto Arias MsC y cada uno de los Miembros del Tribunal por el apoyo, conocimientos, acompañamiento y guías para la culminación de este trabajo.

A mi amigo y compañero de proyecto Andrés Falcón por los logros obtenidos en la vida universitaria y por los que vendrán. A la familia Falcón Ayo por recibirme en su hogar y tratarme como un miembro más de su familia.

Finalmente, gratitud eterna a mi familia por aportar en mi desarrollo personal, profesional y ser mi principal apoyo en la vida.

David

AGRADECIMIENTO II

Mi agradecimiento en primer lugar es a Dios que ha derramado sus bendiciones sobre mi día a día, él es quien guía mis pasos y me da fuerzas para seguir adelante y ser responsable en todo lo que me propongo.

A mi querida y prestigiosa Universidad Estatal Amazónica, en especial a la Facultad Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental, quien me abrió sus puertas para formarme y forjarme de conocimientos y experiencias, las cuales servirán de mucho para mi desempeño como profesional.

A mi amigo y colega David Curipallo por los años de amistad y apoyo para la realización de este proyecto que además es un emprendimiento y espero lo saquemos a delante.

A los miembros del Tribunal Examinador y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental, que compartieron con nosotros sus estudiantes los conocimientos necesarios durante la formación universitaria, en especial a mi director de Proyecto de Titulación el Ing. Pablo Ernesto Arias MsC, que con su experiencia profesional y dedicación ha guiado mi proyecto desde el inicio hasta la culminación.

¡Gracias totales!

Andrés

DEDICATORIA I

Este proyecto, quiero dedicarlo en primer lugar a Dios por la vida y por cuidarme en el camino hasta alcanzar mis objetivos.

A mis padres David Curipallo y Susana Jerez quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron incondicionalmente durante cada etapa de mi vida. A mis hermanos Lady Curipallo y Ezequiel Curipallo por brindarme su compañía y amor.

A la memoria de mis abuelitos maternos, José Jerez y María Salan (†) quienes envían sus bendiciones y me guían desde el cielo.

A mis abuelitos, Víctor Curipallo y Zoila Tite por ser mis segundos padres, darme los mejores consejos de vida y cuidarme desde mi niñez.

A mis tíos Carlos Jerez, Víctor Curipallo y Enma Curipallo por su apoyo económico, moral y depositar toda su confianza en mí.

David

DEDICATORIA II

Al transcurrir cinco años de preparación y culminando exitosamente esta carrera universitaria extiendo esta dedicatoria a mi padre Franklin Falcón y a mi madre Adelita Ayo, que con esfuerzo me han apoyado económica y moralmente durante toda mi formación profesional haciendo que todo sea posible, a mis hermanas Samantha Falcón y Vanessa Falcón por darme ánimos en todo lo que me propongo.

A mis familiares especialmente a mis abuelitos Enrique Ayo, Sarita Logacho y Fabiola Galarza, su concejo me ha motivado a ser una mejor persona, salir a delante siendo disciplinado y humilde en los escenarios que me encuentre.

El apoyo de ustedes fue crucial en el proceso de mi formación universitaria. Gracias a todos por confiar en mí.

Andrés

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto de investigación es medir la eficiencia de tres densidades poblacionales de lombrices rojas californianas (*Eisenia Foétida*) para la descomposición de la materia orgánica vegetal aprovechable del Mercado Comité del Pueblo de la ciudad de Quito. Se realizó el diagnóstico de la situación actual de residuos sólidos orgánicos del mercado mediante el método de cuarteo, se hizo una recolección selectiva tomando una muestra diaria de la fracción orgánica con alimentos asimilables por la lombriz roja californiana (*Eisenia Foétida*), donde se tomó en cuenta la relación C/N de la materia prima a utilizar como sustrato, se implementó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 3 tratamientos, 3 repeticiones y unidades experimentales de $1m^2$ para medir el aprovechamiento y digestión del anélido por medio de su tracto digestivo, se estudiaron las variables producción de humus, composición físico-química, pH, humedad y temperatura. En base a los resultados de la generación de residuos del mercado el componente de materia orgánica fue el más representativo en comparación a los demás componentes, estos residuos al cumplir con la relación C/N fueron aplicados como sustrato alimenticio a todos los tratamientos obteniendo buenos resultados de descomposición. Se concluye que la materia orgánica que se puede aprovechar del mercado es de 78,5% y que a mayor densidad de lombrices/m^2 se mostró una mayor capacidad de procesamiento de desechos orgánicos con mayor concentración de nutrientes en el humus.

Palabras clave: Lombriz, lombricultura, Eisenia Foétida, humus, residuos orgánicos, método de cuarteo, composición de residuos, DBCA

ABSTRACT

The main objective of this research project is to measure the efficiency of three different population densities of Californian red worms (*Eisenia Foetida*) in the decomposition of organic matter collected from the "Mercado Comité del Pueblo", in the city of Quito. In order to develop the project, a diagnosis of the current situation of organic solid waste in the market was carried out through the method of quartering. After that procedure, a selective collection of the residues was made, taking a daily sample of the organic fraction with a vegetable origin and with assimilable food for the Californian red worm (*Eisenia Foétida*). The C / N ratio of the raw material to be used as substrate was taken into account. A Randomized Complete Block Design (RCBD) was implemented with 3 treatments each; 3 repetitions were performed in $1m^2$ experimental units. Humus production, physical-chemical composition, pH, humidity and temperature were studied as variables to measure the use and digestion of the red worm through its digestive tract. Based on the results of waste generation in the market, the organic matter component was the most representative and the one with the highest production compared to the other components. This organic waste was applied as a food substrate to all treatments since it was observed a correct C / N ratio, and good decomposition results were obtained also.

It is concluded that the percentage of organic matter that could be used from the market is up to 78,5% and, moreover, the higher the density of worms / m2 was showed, the greater the capacity for processing organic waste with a higher concentration of nutrients in the final humus was achieved.

Keywords: Earthworm, earthworm culture, *Eisenia Foetida*, humus, organic waste, quartering method, residue composition,

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 1
1. Introducción 1
1.1 Planteamiento del problema 2
1.2 Objetivos 4
1.3 Justificación 5
CAPÍTULO II 6
2. Fundamentación teórica 6
2.1 Contexto histórico de la problemática de la basura en el Ecuador y generación de Residuos Sólidos Orgánicos a nivel local. 6
2.2 Lombricultura y el aprovechamiento de residuos 7
2.3 Origen e importancia de la lombriz roja californiana 8
2.4 Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz 9
2.5 Infraestructura para un lombricultivo 12
2.6 Conceptos básicos 13
CAPITULO lll 17
3. Metodología de la investigación 17
3.1 Localización de la Investigación 17
3.2 Tipo de Investigación 17
3.3 Métodos de Investigación 18
CAPÍTULO IV 26
4. Resultados 26
4.1 Situación actual de la generación de residuos sólidos orgánicos del Mercado Comité del Pueblo 26
4.2 Selección de los residuos sólidos orgánicos aptos para la alimentación de la lombriz roja californiana con una adecuada relación C/N. 37
4.3 Diseño de Bloques Completamente al azar para medir el aprovechamiento y digestión de la lombriz roja californiana por medio de su tracto digestivo. 38
5. Conclusiones y recomendaciones 45
5.1 Conclusiones 45
5.2 Recomendaciones 46
CAPITULO V 47
6. Bibliografía 47
7. Anexos 50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3. Unidades Experimentales, Tratamientos y Numero Repeticiones 22

Tabla 2-3. Análisis de la Varianza (ADEVA) 22

Tabla 3-3. Alimento suministrado a los tratamientos 24

Tabla 4-4. Dimensiones del recipiente..... 26

Tabla 5-4. Peso de los residuos y metros cúbicos..... 26

Tabla 6-4. Generación de residuos sólidos (martes 25-05-2021) 27

Tabla 7-4. Generación de residuos sólidos (miércoles 26-05-2021) 28

Tabla 8-4. Generación de residuos sólidos (jueves 27-05-2021)..... 29

Tabla 9-4. Generación de residuos sólidos (viernes 28-05-2021) 31

Tabla 10-4. Generación de residuos sólidos (sábado 29-05-2021)..... 32

Tabla 11-4. Generación de residuos sólidos (domingo 30-05-2021)..... 33

Tabla 12-4. Generación de residuos sólidos (lunes 31-05-2021) 34

Tabla 13-4. Peso total y porcentaje por componente..... 35

Tabla 14-4. Relación Carbono/Nitrógeno..... 37

Tabla 15-4. Análisis de varianza de producción de humus 38

Tabla 16-4. Composición físico-química del humus..... 40

Tabla 17-4. Análisis de varianza del parámetro pH..... 40

Tabla 18-4. Análisis de varianza del parámetro Humedad..... 42

Tabla 19-4. Análisis de varianza del parámetro Temperatura 43

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1-3. Mapa ubicación del lombricultivo 17

Grafica 2-3. Método de cuarteo 18

Grafica 3-3. Recipiente para la determinación de la densidad 19

Grafica 4-4. Composición de residuos sólidos 28

Grafica 5-4. Composición de residuos sólidos 29

Grafica 6-4. Composición de residuos sólidos 30

Grafica 7-4. Composición de residuos sólidos 31

Grafica 8-4. Composición de residuos sólidos 32

Grafica 9-4. Composición de residuos sólidos 33

Grafica 10-4. Composición de residuos sólidos 34

Grafica 11-4. Peso semanal por componente 35

Grafica 12-4. Composición de residuos sólidos 36

Grafica 13-4. Análisis de la variable producción de humus 39

Grafica 14-4. Análisis de la variable pH 41

Grafica 15-4. Análisis de la variable humedad 43

Grafica 16-4. Análisis de la variable Temperatura 44

CAPÍTULO I

1. Introducción

La contaminación del agua, aire y suelo actualmente generan la problemática ambiental compuesta por la generación de residuos sólidos, que está ligada al crecimiento poblacional, la falta de educación ambiental, capacitación de separación en la fuente y aprovechamiento de residuos como materia prima. El desarrollo de la sociedad va de la mano con el consumismo, a mayor número de habitantes se incrementa el volumen de residuos generados. Creando así desafíos en la gestión ambiental y la salud pública de las ciudades. Por lo tanto, conocer sobre la contaminación ambiental es el paso necesario para crear conciencia con la finalidad de participar en acciones que protegen y recuperan el Ambiente (Arce y Mori, 2020).

En el Ecuador se generan diariamente 11 341 toneladas diarias de residuos, un aproximado de 4 139 512 toneladas métricas por año (tm/año), de las cuales el 61,4% corresponde a residuos orgánicos (Restos de frutas, verduras, cortezas y otros residuos de alimentos); el 9,4% a papel y cartón; el 11% a plásticos; vidrio 2,6%; chatarra 2,2%; otros 13,3%. En 2013 solo 45 municipios (20% de los existentes en el país) contaban con rellenos sanitarios y los 179 restantes (80%) disponían de botaderos poco tecnificado (Tigselema, Villareal y Yánez, 2019). La falta de un correcto manejo de la gestión integral de residuos sólidos en el país conlleva a un desorden. La cantidad exorbitante de residuos generados por el personal de los mercados según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2010) menciona que la fracción orgánica en un mercado municipal corresponde a más del 50% del total de los residuos. Lo cual influye totalmente en las etapas del servicio de aseo, incrementando los costos de recolección, transporte y disposición final (Samaniego, 2019).

El Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Comité del Pueblo, no es ajeno al problema que causa la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, en especial los días de feria o de mayor comercialización, el establecimiento no cuenta con un correcto tratamiento desde la generación hasta su disposición final; provocando altos niveles de contaminación al ambiente.

Por lo tanto, el siguiente trabajo se enfoca inicialmente en la inadecuada disposición de residuos sólidos de origen orgánico putrescible del mercado municipal, a partir de este

se realizó la identificación de la materia orgánica de fácil descomposición de los residuos orgánicos del Mercado Municipal Comité del Pueblo como base para lombricultura enfocada en el campo de la Ingeniería Ambiental, para lo cual se implementó en este medio un sistema de reciclaje de residuos sólidos orgánicos a partir de la lombricultura a pequeña escala en la parroquia Comité del Pueblo de la ciudad de Quito. Se espera aprovechar la fracción orgánica o asimilables por la lombriz roja californiana, obteniendo recursos y materia prima, los mismos que mejoran el aspecto social y ambiental en el entorno, además de incentivar una mejor cultura del reciclaje dentro del establecimiento. Se generará un impacto positivo a nivel comunitario y un punto de referencia primordial en lombricultura urbana de la parroquia.

Esta investigación contribuye a la recuperación del equilibrio perdido en los ecosistemas intensivos de producción, atenuar los problemas de contaminación generados por los residuos orgánicos del mercado, beneficiando a la administración del establecimiento y a la ciudadanía en la adopción de buenas prácticas ambientales dentro y fuera del establecimiento.

1.1 Planteamiento del problema

Si se tiene en cuenta la crisis sanitaria que vive hoy nuestro país y principalmente el crecimiento demográfico, la población quiteña está generando en mayores cantidades desechos de distinto origen que no son aprovechados y su disposición final es el rellano Sanitario del Inga. Una de las mayores fuentes generadoras de residuos orgánicos es el Mercado Comité del Pueblo de la ciudad de Quito (CONQUITO, 2017).

Cuvi (2015) afirmó que “El Ecuador produce semanalmente 58 829 toneladas de residuos sólidos, de las cuales el 58% corresponden a materia orgánica que no es aprovechada adecuadamente y su disposición final son los rellenos sanitarios” (p.5).

Con respecto al crecimiento de la parroquia y su asentamiento en el área de estudio, padece de políticas de planificación y ordenamiento territorial, puesto que el incremento demográfico y la demanda de alimentos han hecho que el Mercado Municipal Comité del Pueblo no cuente con la facilidad física que garantice un adecuado manejo, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos (Samaniego, 2019).

La generación de residuos constituye actualmente uno de los más serios problemas de contaminación, se produce debido a la irresponsabilidad por parte de la ciudadanía, malas políticas y planificaciones públicas, que son ejecutadas por la población sobre el manejo y disposición final de los residuos sólidos. Actualmente los productores agrícolas ecuatorianos y consumidores, siguen el modelo económico lineal, que no ha cambiado desde la primera revolución industrial, el cual consiste en la extracción de la materia prima, el consumo y la generación de residuos (Cuadro, 2019).

La ciudad de Quito al no tener una adecuada planificación y ejecución de un sistema de gestión y aprovechamiento de residuos sólidos, genera aproximadamente 2 000 toneladas diarias de basura de las cuales, el 55% son orgánicos: desperdicios de frutas, hortalizas, etc. El relleno Sanitario ‘’Inga’’ recibe grandes cantidades de basura orgánica, el principal efecto medio ambiental es la generación de lixiviados a través de procesos físicos, químicos y biológicos que estos sufren al degradarse, convirtiéndose en afluentes contaminantes para los recursos agua, suelo y aire (CONQUITO, 2017).

¿Cómo aprovechar correctamente los residuos sólidos orgánicos del Mercado Municipal Comité del Pueblo en la ciudad de Quito, 2021, mediante la implementación de un lombricultivo?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Implementar un sistema de lombricultura para determinar la eficiencia de tres densidades poblacionales de lombrices rojas californiana, mediante el uso de los residuos orgánicos aprovechables del mercado Municipal Comité del Pueblo de la ciudad de Quito.

1.2.2 Objetivos específicos

a) Realizar un diagnóstico de la situación actual de la generación de residuos sólidos orgánicos del Mercado Comité del Pueblo, determinando la cantidad de materia de fácil putrefacción como alimento de la lombriz roja californiana.
b) Seleccionar los residuos sólidos orgánicos aptos para la alimentación de la lombriz roja californiana con una adecuada relación C/N.
c) Medir el aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales mediante la digestión de tres densidades de lombrices rojas californianas sobre un sustrato uniforme.

1.3 Justificación

En base a los problemas ambientales presentados por el manejo inadecuado y disposición final de los residuos orgánicos, se propuso la elaboración del proyecto titulado ‘’Eficiencia de tres densidades poblacionales de lombrices rojas californianas, para la descomposición de la materia orgánica aprovechable del Mercado Comité del Pueblo’’, razón por la cual se implementó un lombricultivo de lombriz roja californiana (*Eisenia Foétida*) (Guerra, 2020).

Esto surge como una alternativa práctica de gestión, manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal con bajo contenido de lignina, aptos para la alimentación y digestión de la lombriz roja californiana. Esta técnica permite disminuir la generación actual de residuos sólidos del mercado municipal Comité del Pueblo, evitando la acumulación de basura en el relleno sanitario de la ciudad de Quito.

El diseño de un sistema de lombricultura ayuda a mitigar los problemas resultantes de los residuos sólidos que son generados en el mercado, de tal manera que sirva de materia prima para la transformación, promoviendo una correcta gestión y manejo de los residuos a través de un sistema ordenado y sistemático en conjunto con los comerciantes y la administración del mercado Comité del Pueblo (Arce y Mori, 2020).

CAPÍTULO II

2. Fundamentación teórica

La generación de residuos es una problemática para el ambiente, la sociedad y la economía. En cada acción o trabajo realizado por la humanidad se producen residuos sólidos de distinto origen. La ineficiencia en políticas ambientales y su aplicación, la carencia de conciencia ambiental y el incorrecto manejo de los residuos involucra acciones conjuntas en el país. La lombricultura se define como un proceso de bioxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción de lombrices y microorganismos. Como todos los tratamientos biológicos referidos a la gestión y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, la lombricultura es un proceso que ocurre en la naturaleza de forma habitual y con los que se cierra el ciclo de la materia orgánica. Con este sistema de aprovechamiento, se optimizará el manejo adecuado y reutilización de los residuos sólidos vegetales óptimos para las técnicas de lombricultura, además de reducir el costo de disposición final de residuos sólidos orgánicos en el relleno sanitario. La lombricultura es importante pues a la vez que sanea el medio ambiente permite el desarrollo sostenible. Desde su estudio se practican vías correctas que contribuyen a proteger un recurso tan importante como el suelo, simultáneamente se obtienen otros productos de relevancia para el desarrollo pecuario y para el desarrollo económico en general (Urrutia y Leguízamo, 2019).

2.1 Contexto histórico de la problemática de la basura en el Ecuador y generación de Residuos Sólidos Orgánicos a nivel local.

La evolución histórica de la problemática de los residuos sólidos tiene sus raíces en el período de crecimiento económico generado por el boom petrolero, los primeros vertederos a cielo abierto se reportan en Quito hacia 1977. Existen tres momentos, en 1975 se dio la primera construcción discursiva. En esta época se daba autorización a que se deseche los residuos a ríos, quebradas, terrenos etc.

El segundo momento se dio gracias al boom petrolero y al ingreso de dinero al país por medio de los ciudadanos migrantes, esto aumentó la cantidad de basura de forma exponencial siendo mayoritarios los residuos inorgánicos. Ecuador inicia la construcción de los vertederos a cielo abierto. Es allí donde inicia un gran problema en cuanto a la disposición de los residuos sólidos.

Llega un tercer momento aún vigente: bote la basura en cada lugar. En ese lapso de tiempo Ecuador apuntó a la construcción de rellenos sanitarios y a implementar técnicas de clasificación de la basura. Se incrementó el desarrollo del extractivismo y agroindustria. Fue allí donde el primer mandatario de aquel entonces decide incrementar el salario básico en un 103% lo que provocó un aumento a la canasta básica familiar y por ende a la generación descontrolada de residuos sólidos (Solíz, 2015).

La producción per cápita promedio de residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es de 0,75 Kg/habitante/día; y se generan 2 000 toneladas diarias de basura con una cobertura del 86% de servicio; mediante la composición física de los residuos se ha determinado que el 61% conforman residuos sólidos orgánicos y el 39% conforman los residuos sólidos inorgánicos. En donde los desechos domésticos provienen de generadores de mayor producción con el 66,4%, desechos industriales el 12,5%, desechos de mayores productores el 10% y desechos de mercados el 59% (Alvaro y Olives, 2016).

2.2 Lombricultura y el aprovechamiento de residuos

Camiletti (2016) mencionó: La lombricultura es el proceso donde las lombrices son utilizadas para convertir residuos orgánicos en humus, también tiene como objetivo maximizar el cultivo de lombrices sin perseguir una óptima bioestabilización del residuo para la alimentación de las mismas; aunque ambos objetivos se logran simultáneamente. (p.20)

La lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida),* es conocida como el animal ecológico, ya que es utilizada para transformar los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal en humus de óptima calidad que retorna al suelo. Es por esa razón que las ciudades han incorporado la crianza en cautiverio, para reducir el problema de los residuos sólidos urbanos, tanto referente a las basuras domésticas, como los que afectan los fangos y lodos de las grandes depuradoras. La solución inmediata es seleccionar las basuras aprovechables, y con las lombrices transformar y mitigar el problema de la generación descontrolada de residuos orgánicos. Junto con estas utilidades, cabe destacar otro uso de la lombricultura en el que, a partir de la observación de la tasa de reproducción y crecimiento de las lombrices, se puede evaluar la peligrosidad de los químicos vertidos en el suelo, utilizándose las lombrices como bioindicador. Gracias a su sistema digestivo se puede reducir el tiempo de degradación de algunos residuos orgánicos que en su

proceso natural se alargarían en el tiempo, debido a su contenido de lignina, ya que las lombrices tienen la capacidad de degradarla (Delgado, 2015).

Las lombrices rojas californianas ingieren diariamente una cantidad de alimento equivalente a su peso, aproximadamente 1 gramo en su etapa de adultez, expelen el 60% tranformando en humus o vermicompost que es un abono orgánico rico en nutrientes y el 40% queda en su organismo. Una lombriz adulta consume diariamente el alimemnto en (24 horas), unos 0,6 gr de humus, con lo que en pequeñas superficies se pueden obtener grandes cantidades de humus. Esta especie requiere moderadas concentraciones de materia orgánica como medio de vida y alimentación, por lo que no sobreviven mucho tiempo en lechos con bajos porcentajes de materia orgánica. Para una adecuada alimentación es indispensable la selección de alimentos de fácil putrefacción o biodegradabilidad como frutas blandas y hortalizas con bajos contenidos de lignina como: lechuga, tomate, sandía, zanahoria, manzanas etc con una relación N/C 30:1. Estos alimentos deben llevar un proceso adecuado de selección ya que las lombrices no poseen dientes, ellas se alimentan por medio de glándulas succionadoras (Alarcón, 2019).

2.3 Origen e importancia de la lombriz roja californiana

La evolución de la lombriz se encuentra cerca de los 700 millones de años y por tal motivo las antiguas civilizaciones las veneraban y protegían. En Egipto era un animal de gran importancia por incorporar nutrientes al suelo, fertilidad al valle de Nilo y quien exportaba o mataba era castigado con la pena de muerte. La civilización sumeria utilizaba la densidad de lombrices para medir la calidad de los suelos al cavar un hoyo en la tierra, los incas también adoraban la existencia de lombrices en sus tierras de cultivo y otras civilizaciones con pensamientos similares. Aristóteles en la antigua Grecia público en su obra “Historia animalium” que las lombrices eran los intestinos de la tierra y su aporte a la fertilidad del suelo. Junto a este pensamiento Charles Darwin más adelante reafirma en su libro “La formación del mantillo vegetal. Por la acción de las lombrices con observaciones sobre sus hábitos” resultado de sus 40 años de investigación de los anélidos (Velásquez, 2020).

El cultivo de lombrices se originó en Norteamérica en el año de 1947. Posteriormente se fue extendiendo por Asia, Europa y América. Fue en 1973 cuando se descubrió otra

nueva especie diferente a la lombriz tradicional con características superiores. Es allí cuando se dio a conocer la lombriz roja californiana. La lombriz es un animal que adopta un rol importante en la naturaleza y las creaciones porque cierra un circuito entre la vida y la muerte. Este animal consume la materia orgánica muerta y la transforma en vida (humus) que es un producto de gran valor económico y ecológico. (Ccasani y Poma, 2012, p.11)

La *Eisenia Foetida* forma parte de la herramientas biotecnológicas actuales para el reciclaje de desechos orgánicos, obteniendo como producto abono orgánico "humus" y carne para alimentación animal. Esta lombriz se caracteriza por ser hermafrodita en condiciones óptimas se reproducen en grandes cantidades en un año. El abono de sus deyecciones contiene gran riqueza bacteriana desarrollando un ciclo biológico que se adapta a un amplio rango de condiciones edafoclimáticas. (Cuzco, 2019, p.2)

La cria intensiva de lombrices en cautiverio es la solucion al problema de los desechos organicos, además de ser totalmente sustentable, rentable, aplicable como instrumento de defensa del ambiente y contra el calentamiento global. La lombriz puede biodegradar y reducir los elementos causantes de la contaminacion integral del suelo, agua y aire, para transformarlos en productos benéficos para el hombre, aportando importantes volúmenes de fertilizantes, que tanto requieren los suelos y la agricultura (Carrera, 2019).

2.4 Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz

2.4.1 Humedad

La humedad es un factor de mucha importancia ya que interviene en la reproducción de la lombriz roja californiana. La humedad debe estar entre el 80 y 90%, cuando el valor es superior al 90% hace que las lombrices entren en un período de latencia y afecte a la producción de vermicompost y la reproducción. Debajo de 70% de humedad es una condición desfavorable. Niveles inferiores al 55% de humedad son mortales para las lombrices. La prueba para medir el porcentaje de humedad en el sustrato con el puño de una mano, posteriormente se aplica fuerza, y si sale de 8 a 10 gotas es que la humedad está de 80 a 90% aproximadamente. (Luna y Mendoza, 2020, p.49)

Es recomendable hacer uso de un medidor de humedad electrónico ya que con este equipo se tendrán datos reales de humedad. Para mantener la humedad en el rango deseado, se debe tener en cuenta la variabilidad que presente el ambiente respecto a la

temperatura, precipitaciones, grado de humedad en el ambiente, según los períodos del año (Urrutia, 2019).

2.4.2 Potencial Hidrogeno

Es importante tener en cuenta el nivel de acidez del sustrato que se va a proporcionar, ya que al no haber alcanzado el nivel óptimo de pH, podría causar la muerte de las lombrices si es menor a 4,5 o superior a 8,5, siendo el rango aconsejado un pH de 6 – 8,5 para evitar la fuga de las lombrices. El grado de acidez puede ser corregido fácilmente mediante la aplicación de carbonato de calcio ya sea en polvo o en forma de gránulos. (Sánchez, 2017, p.3)

Para estabilizar el pH que se encuentre por debajo de 4,5, por altos contenidos de restos vegetales que liberan mucho ácido como cáscaras de limón, naranja, entre otros; se adicionan materiales ricos en nitrógeno como la lechuga, brócoli, coliflor, etc. Si se encuenta sobre los 8,5, directamente está relacionado a una alta temperatura y humedad elevada, que hace que se producza amoniaco alcalinizado. Para estabilizarlo se agrega material con mayor contenido de carbono o ácidos, como restos de poda, hojas secas, aserrín, entre otros (Urrutia y Leguízamo, 2019).

Diago (2016) afirma: El alimento de las lombrices debe ser preparado antes de ser introducido en su hábitat. Los residuos vegetales deben ser dejados a fermentar hasta que logre un pH de 7. Esto considera airear los residuos con remoción manual y riego periódico. El agua empleada pude ser agua lluvia. Los estiércoles deben compostarse por separado, se dejan secar por alrededor de una semana hasta lograr una textura fibrosa y un pH alrededor de 7. (p.9)

2.4.3 Relación C/N

Es importante establecer una relación carbono: nitrógeno adecuada, con el propósito de evitar inmovilización, volatilización o lixiviado del componente nitrogenado. Se recomienda una relación óptima C/N 30:1. La forma más sencilla de lograr una relación apropiada es equilibrando los materiales al mezclar igual cantidad de elementos nutricionalmente ricos con otras propiedades nutritivas pobre. Si sucediese que la relación se encontrase desequilibrada hacia el extremo de nitrógeno, lo más problable es que se generen malos olores debido a la volatilización del NH3. Al contrario, una relación amplia en carbono reducirá la tasa de descomposición al no dotar al sistema de suficiente energía

para potenciar un crecimiento microbiano extenso. Una relación optima de C/N es importante para la reproducción y desarrollo de estos anélidos, debido a que necesitan carbono como fuente de energía y nitrógeno como intermediario en la síntesis de proteínas. (Giunta, Velasquez, Zutara y Escalante, 2019, p.11)

2.4.4 Temperatura

La temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, producción (humus) y fecundidad de las cápsulas. Una temperatura entre 18 a 25 grados se considera óptima, que conlleva el máximo rendimiento de las lombrices. Cuando la temperatura desciende por debajo de los 15ºC las lombrices entran en un período de latencia, disminuyendo su actividad. Van dejando de reproducirse, crecer y producir vermicompost; los cocones o (huevos) no eclosionan y pasan más tiempo encerrados en los embriones, hasta que se presenten condiciones favorables para su eclosión. (Sánchez, 2017, p.3)

Para el control de temperatura se procede a voltear, el cual no solo airea al lecho, si no que hace que este proceso de fermentación aeróbica sea mejor para los microorganismos en la descomposición del sustrato orgánico. Los riegos se hacen de manera controlada y cada vez que el sustrato lo requiera, por lo general se trata de mantener una humedad equilibrada donde las lombrices y el sustrato tengan una aireación adecuada.

En el habitat es importante mantener una relación entre la humedad y la aireación, dentro de la cama, ya que las lombrices son organismos aeróbicos y necesitan tanto de aire como de agua pero en proporciones adecuadas, para aseguara la supervivencia de la lombriz y evitar la compactación. (Terán, 2017, p.14)

2.4.5 Iluminación, Viento y Lluvia

Las lombrices son muy sensibles a los rayos ultravioletas, una ligera exposición a la luz solar podria generarles la muerte, poseen unas células especiales colocadas a lo largo de su cuerpo que avisan la presencia de luz y les permite huir en dirección contraria, por tal razón es recomendable ubicarlas en zonas con sombra donde se pueda proteger del sol, del viento y la lluvia, para evitar la pérdida de su actividad microbiana, así como el lavado y volatilización de sus elementos (Luna y Mendoza, 2020).

2.5 Infraestructura para un lombricultivo

La ubicación de las camas o lechos debe estar en lugares de fácil acceso para las operaciones de riego y distribución de alimento. También es indispensable contar con las especificaciones de cada parte del sistema a implementar. Las camas o lechos constituyen el espacio en donde se realiza el proceso de lombricultura. Estos pueden ser de esterilla, guadua, madera, ladrillo y estima que sus medidas recomendadas deben ser 1m de ancho y la longitud puede variar dependiendo a la longitud del terreno. La altura de la cama debe tener 1m y el espacio óptimo entre estas debe ser de 50cm a 1m.

Al interior de las camas se recomienda tener un piso de cemento, tela plástica o algún material que aísle el cultivo de tal forma que se eviten plagas que puedan afectar al cultivo. Es indispensable emplear una pendiente de 2 a 5% lo que evitará que se inunde la cama. Se recomienda colocar un techo para aislar la lluvia al cultivo y contar con sombra que mejoran las condiciones de trabajo de la lombriz roja californiana (Delgado, 2015).

2.5.1 Densidad poblacional de lombrices

La condición inicial en las cuales se desarrolla un lombricultivo, son importantes para el desarrollo y regulación de la densidad poblacional de las lombrices. Para iniciar con el proceso es recomendable contar con camas o lechos de 1m de ancho x 20m de largo y 0,40m a 0,60m de alto. Se debe dejar entre 0,80m a 1m entre los lechos. La crianza puede iniciar con 100 a 1 000 lombrices rojas californianas por m². Para el suministro de alimento se procede a dotar de dos formas. Una forma es por capas en el cual se extiende una capa de 10-15 cm de alimento, luego se siembran las lombrices; cuando consuman el alimento (40Kg/mes/m²), se agrega otra capa hasta cubrir los 25-30 cm de lecho, regar el lecho (75% de humedad) antes de la siembra (Cueva y Salazar, 2017).

Una vez agotado todo el alimento y ocupando toda la capacidad se procede a cosechar el humus y lombrices, se extiende nuevo alimento sembrando nuevamente los individuos. La cantidad de humus que se obtiene por cada m² tiene un valor aproximado a 250 Kg con las dimensiones establecidas, en un período de tiempo aproximado de 3 a 4 meses de acuerdo al número de individuos del pie de cría. La lombriz roja californiana se reproduce rápidamente aumentando su densidad poblacional en cortos períodos de tiempo, es capaz de tener 1500 crías en un año, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida,

se aparea y deposita cada 7 a 14 días una cápsula (cocón), conteniendo de 2 a 20 huevos que a su vez eclosionan pasados los 21 días (Alarcón, 2019).

2.6 Conceptos básicos

2.6.1 Residuo

Los residuos sólidos son el subproducto de la actividad del hombre y se han producido desde los inicios de la humanidad. Cada día aunmentan en cantidad y variedad como consecuencia del incremento de la población humana y del desarrollo tecnológico e industrial. Los residuos sólidos tienen varias fuentes de generación tales como: hogares, mercados, centros educativos, comercios, fábricas, vías públicas, hospitales, etc.

Residuo es un material o un subproducto industrial que ya no tiene un valor económico y debe ser desechado. También el remanente del metabolismo de los organismos vivos y de la utilización o descomposición de los materiales vivos o inertes y de las transformaciones de energía, son residuos y se los considera un contaminante cuando por su cantidad, composición o particular naturaleza sea de difícil integración a los ciclos, flujos y procesos ecológicos normales. (Vargas, Alvarado, López y Cisnero, 2015, p.83)

Los residuos orgánicos, son sustancias que se pueden descomponer en un tiempo relativamente corto, como por ejemplo cáscaras de frutas, verduras, residuos de comidas, hierbas, hojas y raíces; vegetales, madera, papel y cartón entre otros (Macías, Páez y Torres, 2018).

Los residuos inorgánicos no se descomponen y son aquellos materiales o elementos que sufren ciclos de degradabilidad muy largos. Entre ellos están los plásticos y objetos de un solo uso. Los residuos sólidos inorgánicos son los mayores generadores de impacto ambiental debido a su difícil degradación. Estos generan problemas a la hora de su disposición por no realizarse de manera adecuada (Avila, 2018).

2.6.2 Manejo, gestión y aprovechamiento de residuos sólidos

Busca modificar los comportamientos actuales colectivos e individuales de manejo de residuos incentivado a su reutilización, la minimización y la separación en la fuente, orientando a los generadores hacia la producción mas limpia, y desestimulando el uso de materiales no biodegradables o de dificil aprovechamiento (Cuadro, 2019).

Comprende un conjunto de operaciones encaminadas a proporcionar a los residuos el mejor destino, desde el punto de vista medioambiental y sanitario. Incluye las operaciones de recogida, transporte, disposición y tratamiento de los residuos (Alarcón, 2019).

El aprovechamiento implica la separación y recogida de materiales residuales en el lugar de generación; la preparación de estos materiales para reutilización, el procesamiento, transformación en nuevos productos y la recuperación de productos de conversión como el compost , vermicompost y energía en forma de calor. (Guerra, 2020, p.15)

2.6.3 Naturaleza del sustrato

Los principales residuos biodegradables que se incluyen al proceso para la producción de humus, son de origen agrícola y animal el cual corresponden a la primera capa de lecho, sobre el cual se incorporan las lombrices. El sustrato constituye la base del lecho, se forma con sustancias orgánicas y estiércol, de esto va a depender el adecuado crecimiento, desarrollo y reproducción de la lombriz, ya que es allí donde se tiene que adaptar para la producción de vermicompost durante todo su ciclo de vida. Con un buen sustrato inicial se va a mejorar o estimular la pronta reproducción de las lombrices y dar paso a un crecimiento de poblacional. Cuando no se tiene un buen manejo de humedad en el sustrato y esta permanece muy húmeda, los anélidos intentan retirarse, quedando expuestos a depredadores. Por otro lado, cuando el sustrato está muy seco, las hormigas penetran el sustrato rivalizando los alimentos y con mayor perjuicio depredando a las lombrices. (Santos, 2017 p.28)

2.6.4 Materia orgánica del suelo

“La materia orgánica se define como la agrupación de compuestos que poseen carbono, que con el pasar del tiempo se originaron de seres vivos, plantas y se depositaron dentro de los componentes extructurales de la tierra” (Guerra, 2020, p.18).

Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel importante en el suelo. El término humus designa a las sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal y animal. Contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno. La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural,

uniéndose a las arsillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso (Julca, Meneses, Blas y Bello, 2016).

2.6.5 Estiércol

Es el excremento de cualquier tipo de animal se utiliza mediante una semidescomposición y estabilización de pH y la temperatura, se usa como dieta alimenticia para las lombrices rojas californianas, los estiércoles provenientes de Ovinos, Bovinos, Equinos son los que mejor asimilan las lombrices, ya que no poseen bacterias y enfermedades como es el caso de la gallinaza. El estiércol se utililiza para mezclar con residuos orgánicos de origen vegetal y así equilibrar un alimento con una adecuada relación C/N. El estiércol de caballo es el que más se utiliza en la lombricultura. Con el suministro de estiércol se obtiene el vermicompost con altos índices de calidad. (Santos, 2017 p.29)

El estiércol se considera los excrementos de animales y el lugar donde estos se depositan se llama estercolero. Es un producto de desecho de la produccion animal (Acevedo, Leos, Figueroa y Romo, 2017).

2.6.6 Lombricultura

Es una biotecnología que hace uso de una especie domesticada de lombriz como herramienta de trabajo para reciclar todo tipo de materia orgánica asimilable obteniendo humus y otros productos. Esta actividad zootécnica permite mejorar los sistemas de producción agrícola. En el futuro será el método más rápido de restaurar y recuperar suelos. La especie más utilizada para este proceso es la lombriz roja californiana. (Terán, 2017, p.10)

Por otro lado el vermicompostaje consiste en combinar la digestión aerobia y la transformación de los materiales orgánicos mediante la acción de la lombriz roja californiana. El producto final de este proceso es conocido como vermicomposta o humus de lombriz. Es un sustrato estable, uniforme, con una excelente extructura física, porosidad, aireación, drenaje, contenido nutrimental y capacidad de retención de humedad (Acosta, Solís, Villegas y Cardoso, 2017).

2.6.7 Pre-compostaje

Dada la naturaleza detrivora de las lombrices y antes de su incorporación al lombricultivo es necesario que la materia aportada inicialmente sufra una etapa de biodegradación. Esta fase dura aproximadamente unos 15 días y en el trancurso se descomponen los compuestos fácilmente degradables, asi como las sustancias volátiles, siendo esta últimas tóxicas para las lombrices. El estiércol o la mezcla de residuos con estiércol debe estar descompuesto en condiciones de humedad durante 15 o 20 días. Esto es especialmente importante cuando se trata de materiales que fermentan rápidamente y que generan alto nivel de acidez como frutas y residuos (Pradas, 2020, p.9)

2.6.8 Humus

Se conoce como humus a la materia orgánica degradada a su último estado de descomposición por efecto de la digestión por el tracto digestivo de la lombriz roja californiana y por acción de microorganismos, en consecuencia, se encuentra químicamente estabilizada como coloide. Una alta concentración de los componentes químicos del humus no es procesada específicamente por la digestión de las lombrices sino por las actividades microbianas que toma el período de reposo dentro del lecho. Por ejemplo, el 50% del total de los ácidos húmicos que contiene el humus.

El humus de lombriz es uno de los mejores abonos o enmiendas orgánicas que puede existir, ya que posee un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y otros componentes fundamentales para el crecimiento adecuado de las plantas. (Terán, 2017, p.16)

CAPITULO lll

3. Metodología de la investigación

3.1 Localización de la Investigación

La presente investigación se llevó a cabo en la planta de lombricultivo y el Mercado Municipal Comité del Pueblo, ubicados en la parroquia Comité del Pueblo de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador, la parroquia se encuentra al noreste del Distrito Metropolitano de Quito con una georreferenciación S 0° 7′ 18,9984” W 78° 27′ 59,0004”. El mismo que cuenta con un área de terreno de 40 m^2. Se encuentra a una altitud media de 2 850 m s. n. m. Según el INAMHI la parroquia Comité del Pueblo presenta una precipitación anual de 1081 m^3, humedad relativa media de 74% y una temperatura media anual de 15º C.



Grafica 1-3 Mapa ubicación del lombricultivo
Elaborado por: Autores

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se implementó es descriptiva y experimental, ya que mediante el uso de métodos cualitativos y cuantitativos se obtuvo la generación de

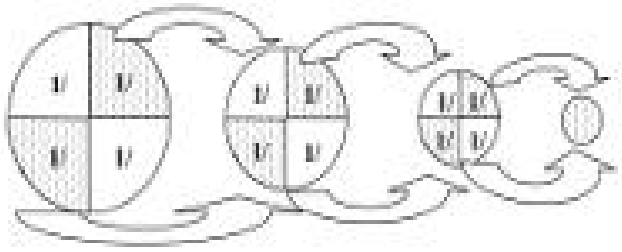
residuos, además se llevó a cabo un diseño experimental con Bloques Completamente al Azar con distinta densidad poblacional de lombrices *(Eisenia Foétida),* donde se midió el aprovechamiento y digestión por medio de su tracto digestivo.

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 Diagnóstico de la situación actual

Cantanhede, Monge, Sandoval y Caycho (2005) afirman que, para la determinación de la composición física de los Residuos sólidos del Mercado Comité del Pueblo, se ejecutó el método del cuarteo de residuos donde se utilizó una muestra de un día de los residuos generados en el mercado, estos se colocaron en una zona plana y fue indispensable utilizar plástico como base con la finalidad de que los residuos no se mezclen con tierra.

Se vertieron los residuos sobre el plástico, posteriormente se formó un cúmulo o montón con el fin de homogenizar la muestra, fue necesario trozar los residuos voluminosos. Se dividió el cúmulo de residuos en cuatro partes iguales escogiendo los lados opuestos para formar un nuevo montón. Finalmente se mezcló y dividió el nuevo montón en cuatro partes iguales, se tomó en cuenta las partes opuestas para formar un nuevo cúmulo; este proceso se repitió hasta obtener una muestra de 50 kg de basura.



Grafica 2-3 Método de cuarteo
Fuente: (Cantanhede et al., 2005).

Una vez obtenida una muestra de 50Kg del último montón, se clasificó la basura por componentes:

- Papel y cartón
- Restos de alimentos
- Materia orgánica
- Plásticos
- Otros

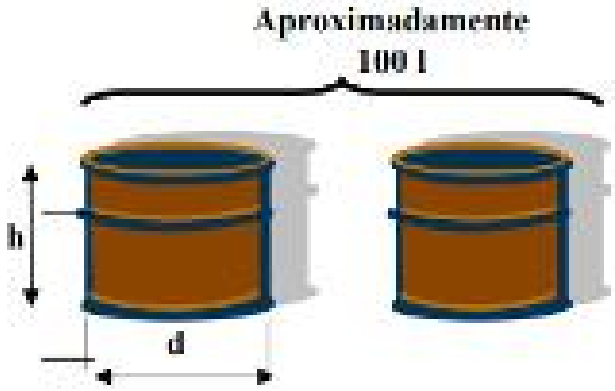
Mientras que para determinar la composición de los residuos se clasificó los componentes en recipientes pequeños. Antes de clasificar los residuos se pesó el recipiente vacío y la balanza tuvo que estar calibrada en cero.

Para calcular el porcentaje se tomó en cuenta el peso total de los residuos colectados en un día (Wt) y el peso de cada componente (Pi), el porcentaje se obtuvo mediante la ecuación en la que se divide el peso de cada componente por el peso total y multiplicando por 100.

$$\boldsymbol{Porcentaje}\ (\%) = \frac{Pi}{Wt} \times 100$$

Este procedimiento se realizó durante 7 días de muestreo. De los ocho días de muestreo no se tomó en cuenta el primer día puesto que no resulta representativo ya que varias veces existe excesiva cantidad de basura y otras muy pocas cantidades; esto dificulta el cálculo de los promedios.

Para la determinación de la Densidad de los Residuos Sólidos se debe contar con un recipiente de alrededor de 100 litros para utilizar como depósito estándar, con la finalidad de determinar el volumen que ocupará el residuo; contar con una balanza.



Grafica 3-3 Recipiente para la determinación de la densidad
Fuente: (Cantanhede et al., 2005).

Pesar el recipiente vacío (Wi) y determinar su volumen (V). Los datos que se deberán tomar son: altura (h) y su diámetro (d). Para obtener el volumen del recipiente se utilizó la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{Volumen}\ (\boldsymbol{V}) = 0{,}7854 \times d^2 \times h$$

Se debe colocar los residuos sólidos que fueron utilizados en el método de cuarteo en el recipiente, se moverá el recipiente de tal forma que no quede espacios entre residuos para evitar cálculos adicionales.

3.3.2 Selección de residuos sólidos orgánicos aptos para la alimentación de la lombriz roja californiana.

Considerando que los residuos que se requirieron para el aprovechamiento de la lombriz solo eran los de carácter orgánico, y específicamente restos de frutas y verduras, se hizo una recolección selectiva la cual se ejecutó luego de realizar el cuarteo, tomando una muestra diaria de la fracción orgánica de origen vegetal con alimentos asimilables de rápida descomposición por la lombriz roja californiana, esta muestra fue colectada durante 7 días. Los residuos vegetales que fueron útiles como materia prima para la alimentación de la lombriz roja californiana, se obtuvieron en su mayoría de restos provenientes del área de frutas y verduras del mercado.

Se tomó en cuenta la relación Carbono / Nitrógeno de la materia prima a utilizar, el cual se controla desde el inicio por la utilización de materiales ricos en sustancias que se utilizan en la lombricultura. La materia orgánica utilizada frecuentemente es: col, brócoli, vaina de frejol, vaina de alverja, piña, papaya, naranja, etc. Una vez que fueron colectados todos estos residuos selectos para la alimentación, tuvieron que pasar por un proceso de precompostaje. Para obtener una adecuada relación C/N de los alimentos que fueron colectados en el mercado se procedió a calcular el promedio, el cual consistió en sumar la relación C/N de todos los alimentos y dividir para el total de alimentos colectados.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + \cdots + X_n}{N}$$

3.3.3 Medición del aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales mediante la digestión de tres densidades de lombrices rojas californianas sobre un sustrato uniforme.

3.3.3.1 Materiales, equipos e instalaciones

- ✓ 13,5 kg de lombrices
- ✓ Hojarasca
- ✓ Agua

- ✓ 2 palas rastrillos
- ✓ Plástico negro
- ✓ Materia orgánica
- ✓ Madera

Equipos

- ➢ Balanza
- ➢ pHmetro
- ➢ Cámara fotográfica

Instalaciones

- ➢ 9 lechos de 1m x 1m x 0,5m
- ➢ Cubierta metálica 4m x 2m

3.3.3.2 Tratamientos

Se trabajó con un total de 9 unidades experimentales (lechos) estudiándose el efecto de 3 tratamientos cada uno con 3 repeticiones. Los cuales resultaron de inocular tres densidades poblacionales de lombriz roja californiana por lecho. Los lechos tuvieron una dimensión de 1m x 1m x 0,5m.

T1: 1 Kg. m^2 de lombriz californiana

T2: 1,5 Kg. m^2 de lombriz californiana

T3: 2 Kg. m^2 de lombriz californiana

Tabla 1-3: Unidades Experimentales, Tratamientos y Número de Repeticiones

Tratamientos	UE	R	m²/Tra
T1: 1Kg de lombriz / m²	1m²	3	3
T2: 1,5 Kg de lombriz / m²	1m²	3	3
T3: 2 Kg de lombriz / m²	1m²	3	3
Total			**9**

Elaborado por: Autores

Diseño Experimental

Se dispuso un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones. Para el análisis estadístico se empleó la Prueba de Significación de Tukey al 5% de probabilidad. En la tabla 2-3 se detalla el esquema del análisis de la varianza.

Esquema del Análisis de la Varianza (ADEVA)

Tabla 2-3: Análisis de la Varianza (ADEVA)

F de V	Gl
Tratamientos	2
Bloques	2
Error	4
Total	**8**

Elaborador por: Autores

3.3.3.3 Mediciones experimentales

Producción de humus

Después de cosechar, secar y tamizar el humus, se obtuvo el rendimiento final en tonelada/m²/año por cada unidad experimental

Índice de transformación de la materia orgánica

Para obtener el índice de transformación de la materia orgánica aprovechable del mercado, se dividió el total del alimento suministrado en cada lecho para la producción de humus acumulado por cada tratamiento post cosecha.

Composición físico-química del humus

La composición físico-química (N, P, K, C/N) se determinó tomando submuestras de las repeticiones, con estas se formó una sola muestra general de 1 Kg por cada tratamiento y se colocó en bolsas herméticas, después se lo envió al laboratorio de la empresa ‘’Labonort’’ para realizar el análisis químico.

pH

Se utilizó un peachímetro digital para obtener datos diarios del pH durante 15 días en cada unidad experimental según la escala correspondiente.

Humedad

La humedad se evaluó desde la fase de instalación de los lechos y repeticiones durante 15 días. El equipo que se utilizó para la medición fue ‘’soil tester’’, el cual consistió en introducir la sonda a una profundidad de 10 cm y tomar los datos cuando el equipo se haya estabilizado.

Temperatura

La temperatura se evaluó diariamente durante 15 días. El equipo que se utilizó para la medición fue un termómetro digital, el cual consistió en introducir la sonda a una profundidad de 10 cm y tomar los datos cuando el equipo se haya estabilizado.

3.3.3.4 Manejo del experimento

Las unidades experimentales (lechos) se ubicaron bajo una cubierta metálica, los cajones fueron hechos madera, las medidas son: 1m de largo por 1m de acho y 0,5m de alto, estos se separaron a 60cm entre repeticiones

Preparación del alimento

El sustrato para alimentar a las lombrices fueron desechos de origen vegetal provenientes del Mercado Comité de Pueblo. Los residuos se transportaron al sitio del ensayo donde pasaron por una fase de precompostaje de 15 días, se evacuaron malos olores y se eliminó el exceso de humedad.

Colocación del sustrato

El sustrato se extendió en el lecho formando una capa, este tenía una humedad del 77% y pH 6,9 antes de la inoculación de las lombrices.

Alimentación

La colocación del sustrato se realizó cada siete días, con la materia orgánica descompuesta del mercado, la alimentación fue igual para todos los tratamientos (Tabla 3-3).

Tabla 3-3: Alimento suministrado a los tratamientos

Tratamiento	Densidad m^2	Alimento (Kg)
T1	1 kg	7
T2	1,5 kg	7
T3	2Kg	7

Elaborador por: Autores

Riego

Se realizó cada 5 días con una regadera rociando agua limpia y fresca sobre el lecho

Volteos y control sanitario

Para mejorar la aireación se volteó dos veces a la semana utilizando un rastrillo y cuidando no lastimar a las lombrices.

Cosecha

La cosecha se realizó a los 60 días, se separó las lombrices del humus con trampas, después se recogió el humus, seco, tamizo para pesar y obtener el producto (Mesías, 2011).

Modelo del diseño experimental

T1	T3	T2	BLOQUE1
T2	T1	T3	BLOQUE2
T3	T2	T1	BLOQUE3

Modelo Matemático D.B.C.A

$$\boldsymbol{Xij} = \mu + \boldsymbol{\alpha i} + \boldsymbol{\beta j} + £\boldsymbol{ij}$$

Donde:

Xij= Valor del parámetro en consideración

μ= Media general

αi= Efecto de los tratamientos

βj= Efecto de los bloques

£ij= Efecto del error experimental

CAPÍTULO IV

4. Resultados

4.1 Situación actual de la generación de residuos sólidos orgánicos del Mercado Comité del Pueblo

Tabla 4-4: Dimensiones del recipiente

Dimensiones del tacho		
	Cm	m
Diámetro del bote	48,5	0,485
Altura	50,1	0,501

Elaborado por: Autores

$$\boldsymbol{v} = 0{,}7854 \text{ x } \mathrm{d}^2 xh$$

$$\boldsymbol{v} = 0{,}092\ m^3$$

En la tabla 4-4 se observa las dimensiones del recipiente que se ocupó para el cálculo del volumen del mismo. El volumen del recipiente se obtuvo mediante la multiplicación de la constante del recipiente por el diámetro elevado al cuadrado por la altura, dando como resultado 0,092 m³. Este valor obtenido fue la base para posteriormente utilizarlo en el cálculo total de los metros cúbicos de basura que genera el mercado en una semana.

Tabla 5-4: Peso de los residuos y metros cúbicos

Días	**Peso (Kg residuos)**	**Número de tachos**	**Volumen del tacho**	**Metros cúbicos de residuos (m³)**
Lunes	84	4	0,092	0,368
Martes	115	6,25	0,092	0,575
Miércoles	135	7,5	0,092	0,69
Jueves	170	8,25	0,092	0,759
Viernes	212	9	0,092	0,828
Sábado	240	11	0,092	1,012
Domingo	206	8,5	0,092	0,782
Total	1162	54,5	0,092	5,014

Elaborado por: Autores

m³ de basura= Número de tachos x Volumen del tacho

Densidad = Peso residuo (Kg) / volumen basura (m³)

En tabla 5-4 se evidencia que el día lunes el peso de la basura fue de 84Kg, el día martes 115Kg, miércoles 135Kg, jueves 170Kg, viernes 212Kg, sábado 240Kg y domingo 206Kg, dando un total de 1 162Kg de basura semanalmente.

El número de tachos que se utilizó por día para la medición de los metros cúbicos de basura fueron los siguientes: lunes 4, martes 6,25, miércoles 7,5, jueves 8,25, viernes 9, sábado 11 y domingo 8,5.

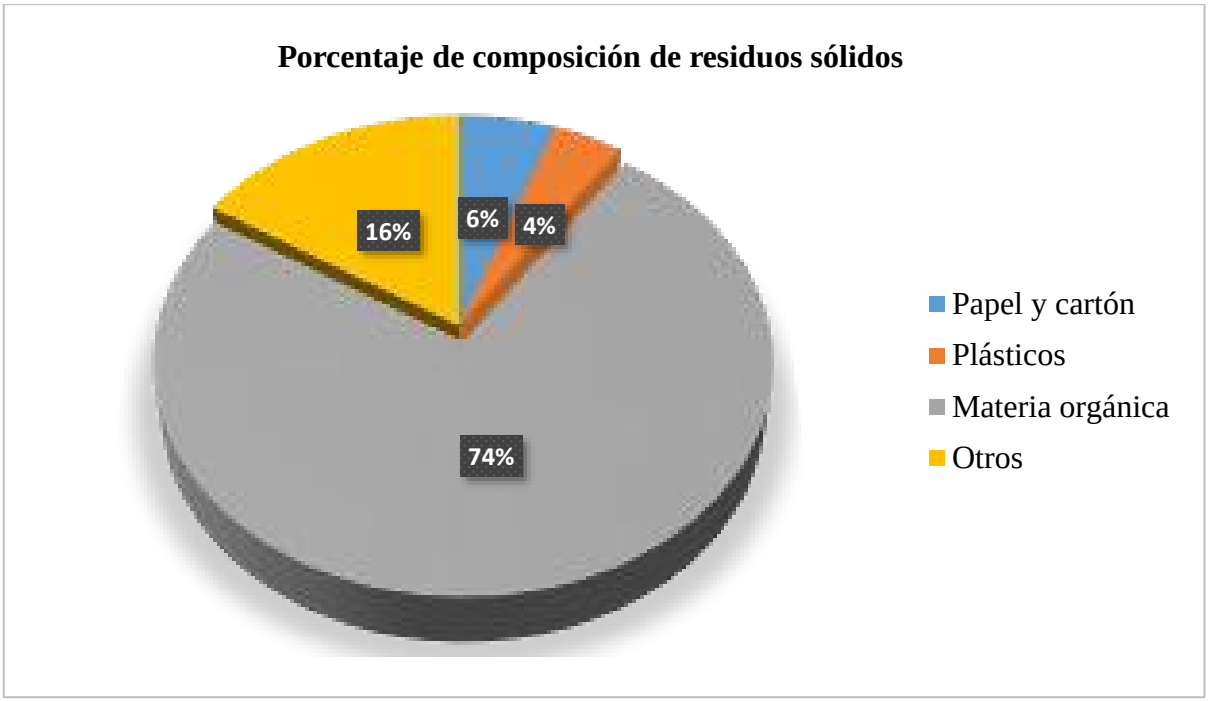
Los metros cúbicos de basura que se generaron diariamente se calcularon en función de la multiplicación del número de tachos y el volumen del mismo, el cual dio como resultado los siguientes valores por días: lunes 0,368 m^3, martes 0,575 m^3, miércoles 0,69 m^3, jueves 0,759 m^3, viernes 0,828 m^3, sábado 1,012 m^3 y domingo 0,782 m^3. La sumatoria total de lo metros cúbicos que se generan semanalmente en el mercado es de 5,014 m^3.

4.1.1 Resultados de la determinación de la Composición Física de los Residuos Sólidos

Tabla 6-4: Generación de residuos sólidos (martes 25-05-2021)

Martes	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	2,1
Plásticos	1,5
Materia orgánica	28
Otros	6
Total residuos sólidos	**37,6**

Elaborador por: Autores



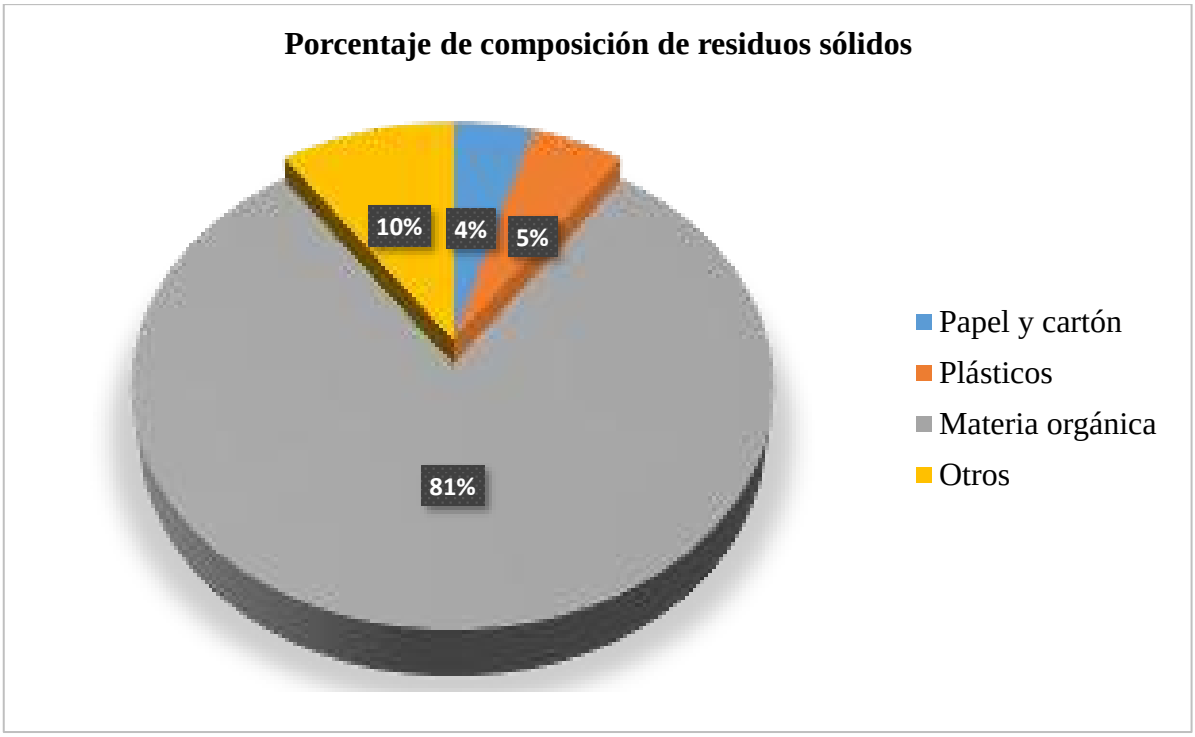
Grafica 4-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el primer día de cuarteo corresponden: 6% papel y cartón, 4% plásticos, 74% materia orgánica y 16% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición con 74% y la de menor porcentaje fueron los plásticos con 4%.

Tabla 7-4: Generación de residuos sólidos (miércoles 26-05-2021)

Miércoles	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	1,7
Plásticos	2
Materia orgánica	31
Otros	3,7
Total residuos sólidos	**38,4**

Elaborador por: Autores



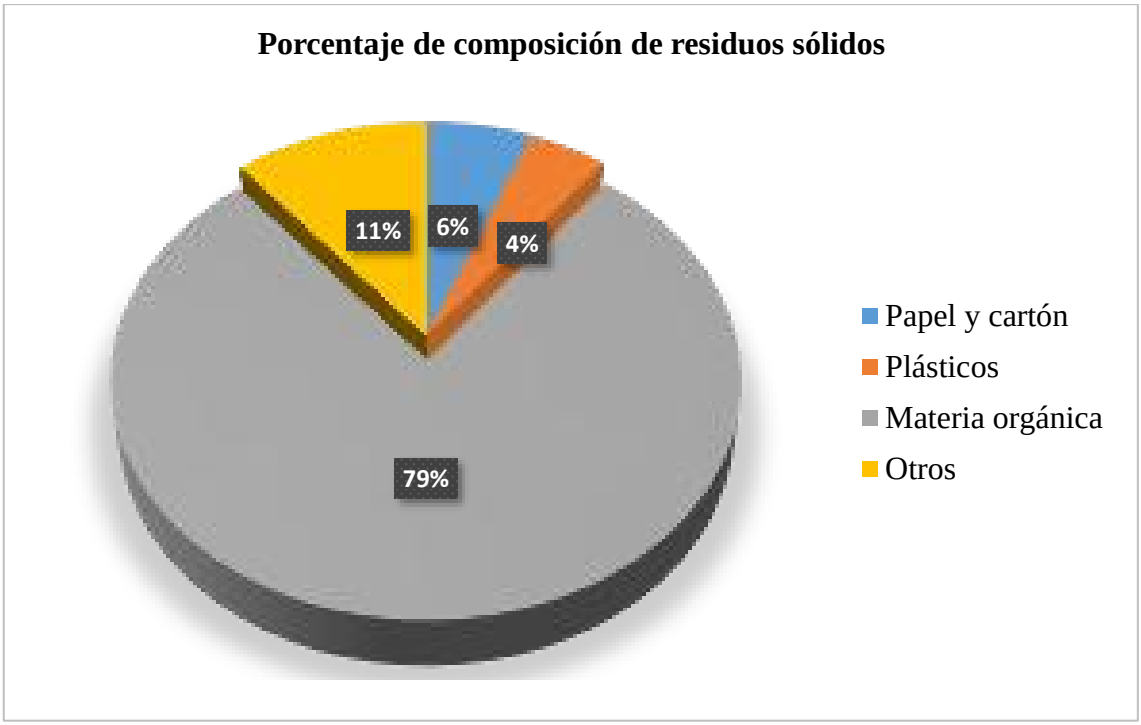
Grafica 5-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el segundo día de cuarteo corresponden: 4% papel y cartón, 5% plásticos, 81% materia orgánica y 10% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición con 81% y la de menor porcentaje fue papel y cartón con 4%.

Tabla 8-4: Generación de residuos sólidos (jueves 27-05-2021)

	Jueves
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	2,3
Plásticos	1,7
Materia orgánica	30
Otros	4,2
Total residuos sólidos	**38,2**

Elaborador por: Autores



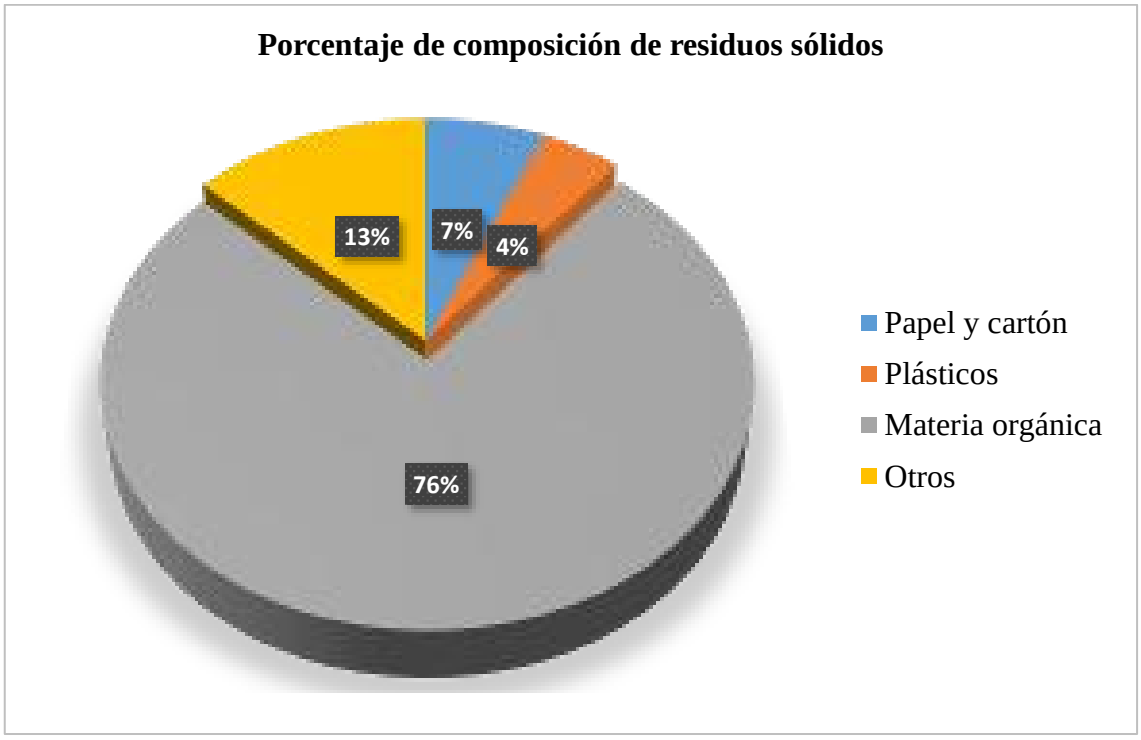
Grafica 6-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el tercer día de cuarteo corresponden: 6% papel y cartón, 4% plásticos, 79% materia orgánica y 11% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición con 79% y la de menor porcentaje fueron los plásticos con 4%.

Tabla 9-4: Generación de residuos sólidos (viernes 28-05-2021)

Viernes	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	3
Plásticos	2
Materia orgánica	35
Otros	6
Total residuos sólidos	**46**

Elaborador por: Autores



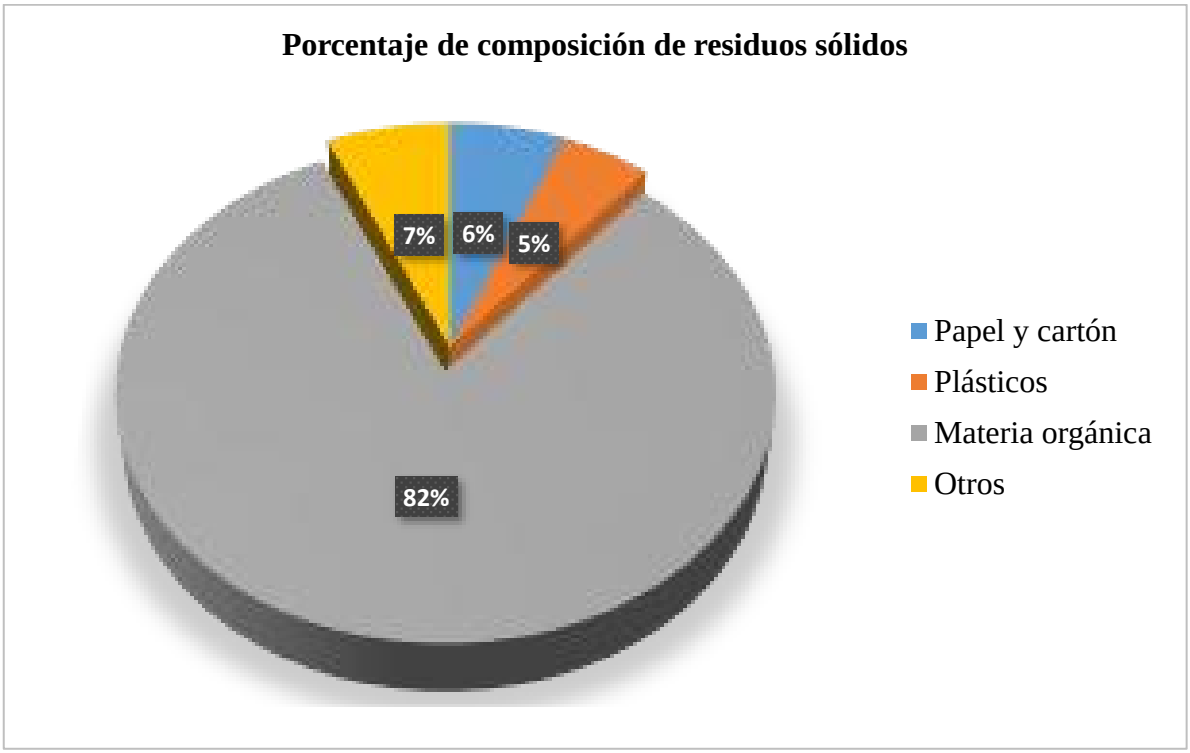
Grafica 7-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el cuarto día de cuarteo corresponden: 7% papel y cartón, 4% plásticos, 76% materia orgánica y 13% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición con 76% y la de menor porcentaje fueron los plásticos con 4%.

Tabla 10-4: Generación de residuos sólidos (sábado 29-05-2021)

Sábado	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	2,8
Plásticos	2,2
Materia orgánica	37
Otros	3
Total residuos sólidos	**45**

Elaborador por: Autores



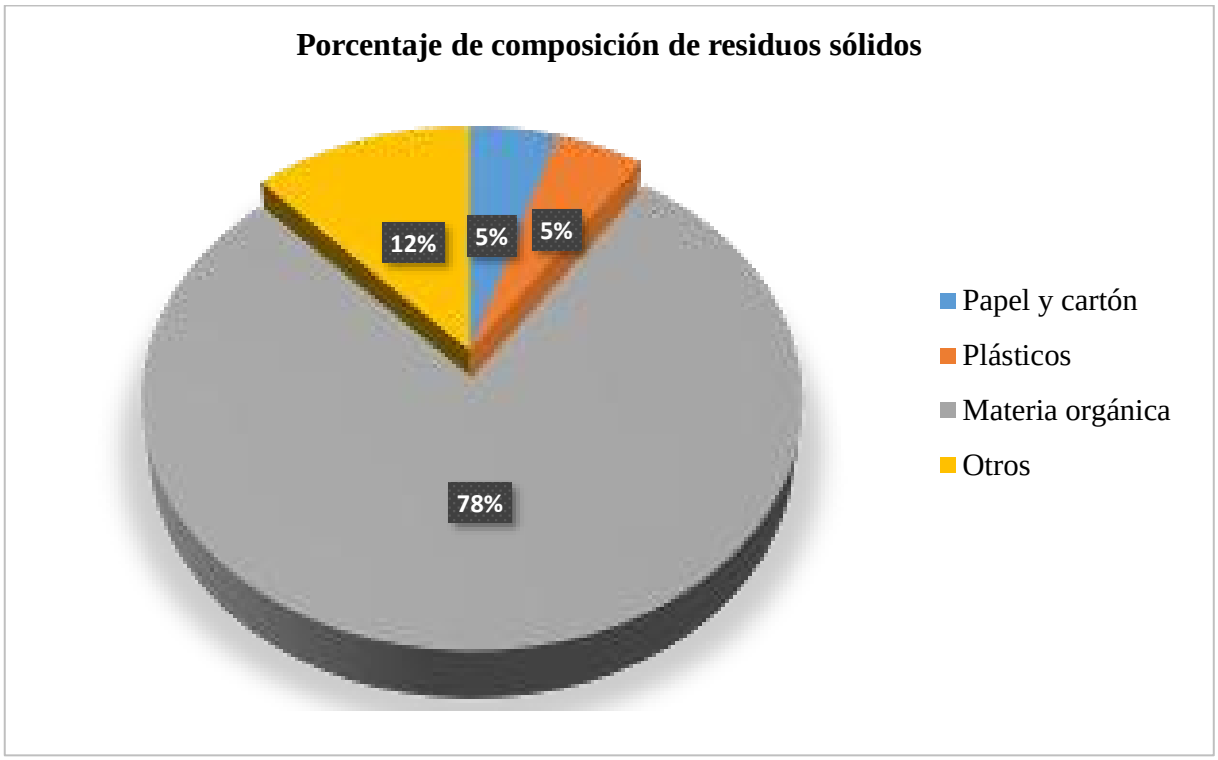
Grafica 8-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el quinto día de cuarteo corresponden: 6% papel y cartón, 5% plásticos, 82% materia orgánica y 7% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición con 82% y la de menor porcentaje fueron los plásticos con 5%.

Tabla 11-4: Generación de residuos sólidos (domingo 30-05-2021)

Domingo	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	2
Plásticos	2
Materia orgánica	33
Otros	5
Total residuos sólidos	**42**

Elaborador por: Autores



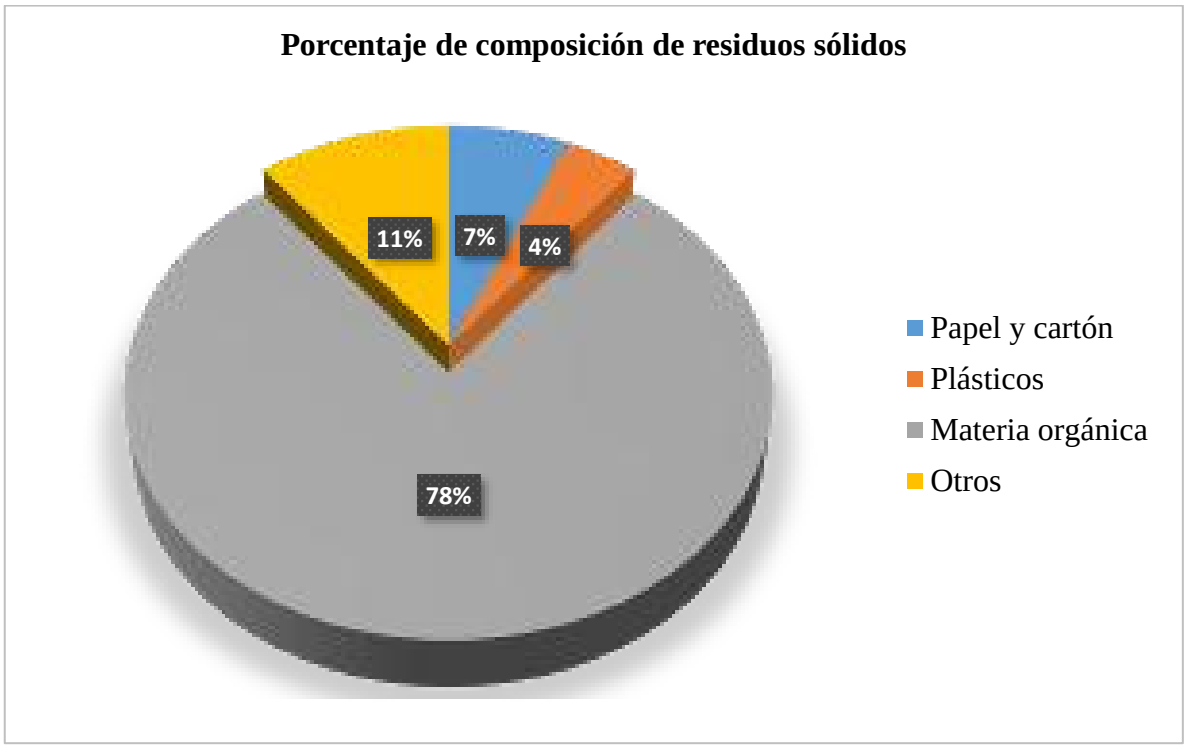
Grafica 9-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el sexto día de cuarteo corresponden: 5% papel y cartón, 5% plásticos, 78% materia orgánica y 12% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición en el primer día de estudio con 78%. Y la de menor porcentaje fue papel, cartón y plásticos con un 5%.

Tabla 12-4: Generación de residuos sólidos (lunes 31-05-2021)

Lunes	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	2,5
Plásticos	1,5
Materia orgánica	29,5
Otros	4
Total residuos sólidos	**37,5**

Elaborador por: Autores



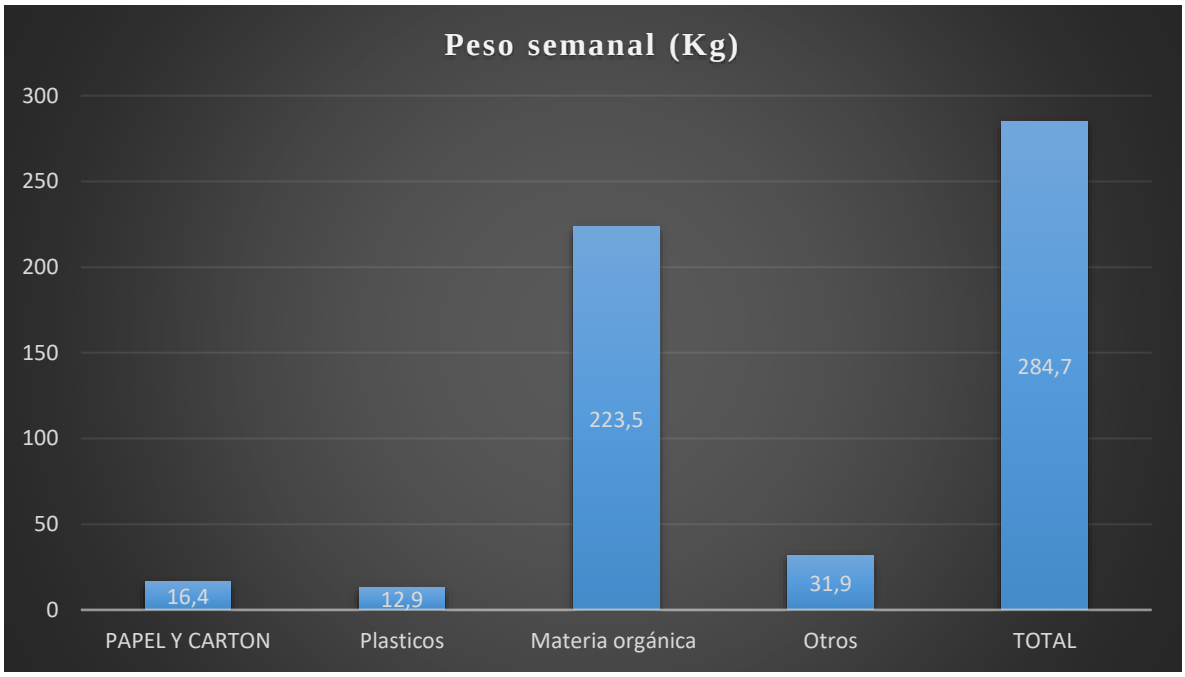
Grafica 10-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en el séptimo día de cuarteo corresponden: 7% papel y cartón, 4% plásticos, 78% materia orgánica y 11% otros. La fracción orgánica fue la de mayor porcentaje de composición en el primer día de estudio con 78% y la de menor porcentaje fueron los plásticos con 4%.

Tabla 13-4: Peso total y porcentaje por componente

Material	Peso (Kg)	Porcentaje (%)
PAPEL Y CARTON	16,4	5,8
Plásticos	12,9	4,5
Materia orgánica	223,5	79
Otros	31,9	11,2
TOTAL	**284,7**	**100**

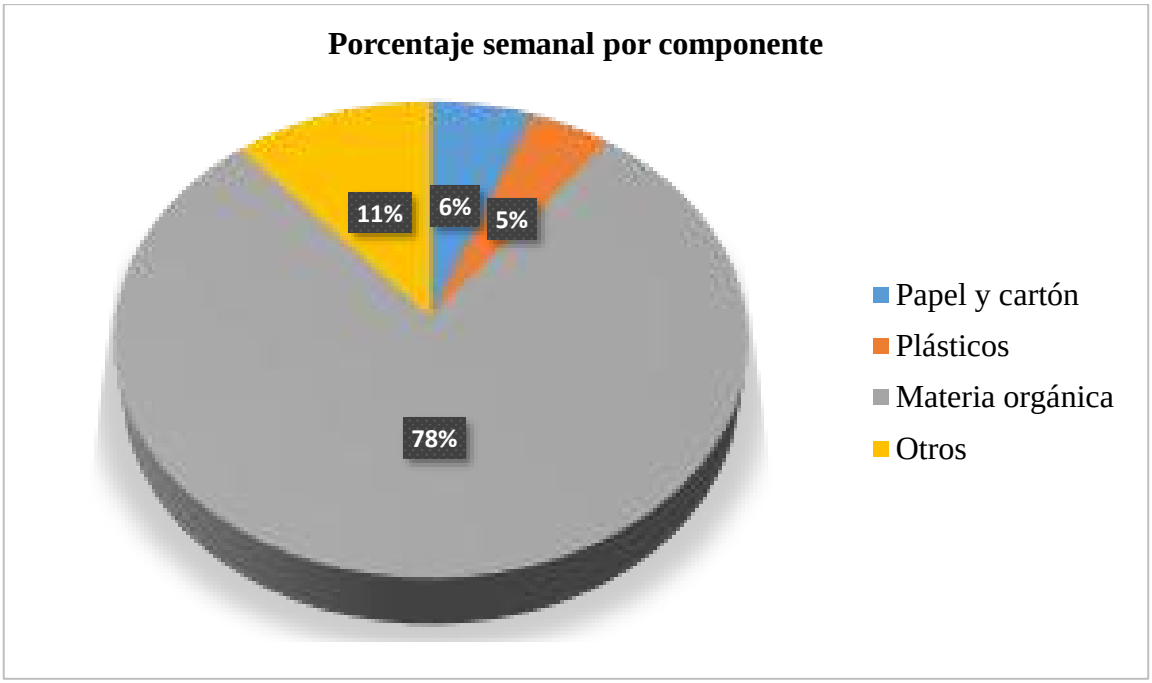
Elaborador por: Autores



Grafica 11-4 Peso semanal por componente
Elaborado por: Autores

Sumados todos los valores que se detallan en el gráfico 11-4 da un total de 284,7 Kg/semana, corresponde a los residuos (Papel y cartón, plásticos, materia orgánica y otros).

El peso total de basura se subdivide por 4 tipos de componentes que pertenece a (papel y cartón 16Kg, plásticos 12,9Kg, materia orgánica 223,5Kg y otros 31,9Kg). El componente materia orgánica obtuvo el mayor peso semanal en el cuarto de residuos con un total de 223,5 Kg.



Grafica 12-4 Composición de residuos sólidos
Elaborado por: Autores

Los resultados basados en la cantidad de residuos generados en la semana de cuarteo corresponden: 6% papel y cartón, 5% plásticos, 78% materia orgánica y 11% otros. La fracción orgánica obtuvo un mayor porcentaje en cuanto a la composición semanal de los residuos, obteniendo el 78% y el componente que obtuvo el menor porcentaje fue los plásticos con el 5%.

4.2 Selección de los residuos sólidos orgánicos aptos para la alimentación de la lombriz roja californiana con una adecuada relación C/N.

Tabla 14-4: Relación Carbono/Nitrógeno

MATERIAL	RELACIÓN C/N
Hojas de frijol	27/1
Hierba fresca leguminosa	12/1
Restos de lechugas	14/1
Mazorca de maíz	117/1
Cáscara de manzana	48/1
Peladura de papa	25/1
Cáscaras de plátano	32/1
Rastrojo de leguminosas	15/1
Restos de frutas	40/1
Restos mezcla hortícola	15/1

Elaborador por: Autores

En la tabla 14-4 se evidencia que las fuentes de alimento empleadas para la lombriz roja californiana muestran diferencias significativas en cuanto a los contenidos de Carbono (C) y Nitrógeno (N), siendo el carbono el elemento más abundante en el humus elaborado a partir de un mismo sustrato.

La relación C/N de los alimentos seleccionados como materia prima para la alimentación de las lombrices fueron: hojas de frijol 27/1, hierba fresca leguminosa 12/1, restos de lechuga 14/1, mazorca de maíz 117/1, cáscara de manzana 48/1, peladura de papa 25/1, cáscaras de plátano 32/1, rastrojo de leguminosas 15/1, restos de frutas 40/1, restos mezcla hortícola 15/1. La relación C/N de la mazorca de maíz fue la más alta obteniendo 117 partes de carbono por una parte de nitrógeno.

La relación C/N ideal para iniciar el compostaje es de 30 a 40/1. El promedio de la relación C/N de los alimentos seleccionados del mercado fue 34/1 que favoreció al óptimo desempeño de los microorganismos para la degradación de la materia orgánica, dos tercios de carbono fueron eliminados como sobrante por los microorganismos y el tercio restante quedó inmovilizado como parte del cuerpo microbiano, resultando una relación 10/1 óptima para la alimentación de la lombriz roja californiana, se evidenció que después 24 horas aplicado el alimento las lombrices estaban distribuidas de manera homogénea dentro del sustrato procediendo a su completa utilización. (Cuzco, 2019, p.2)

4.3 Diseño de Bloques Completamente al azar para medir el aprovechamiento y digestión de la lombriz roja californiana por medio de su tracto digestivo.

4.3.1 Producción de humus

Al realizar el análisis de varianza (Tabla 15-4), para la variable producción de humus (kg), se identificaron diferencias significativas para la fuente de variación (densidad poblacional de lombrices), sin embargo, no se determinaron diferencias entre los bloques. P-valor fue de 0.0200 y el coeficiente de variación fue de 11,44 %. El coeficiente de variación es aceptable para este tipo de investigaciones (<20%)

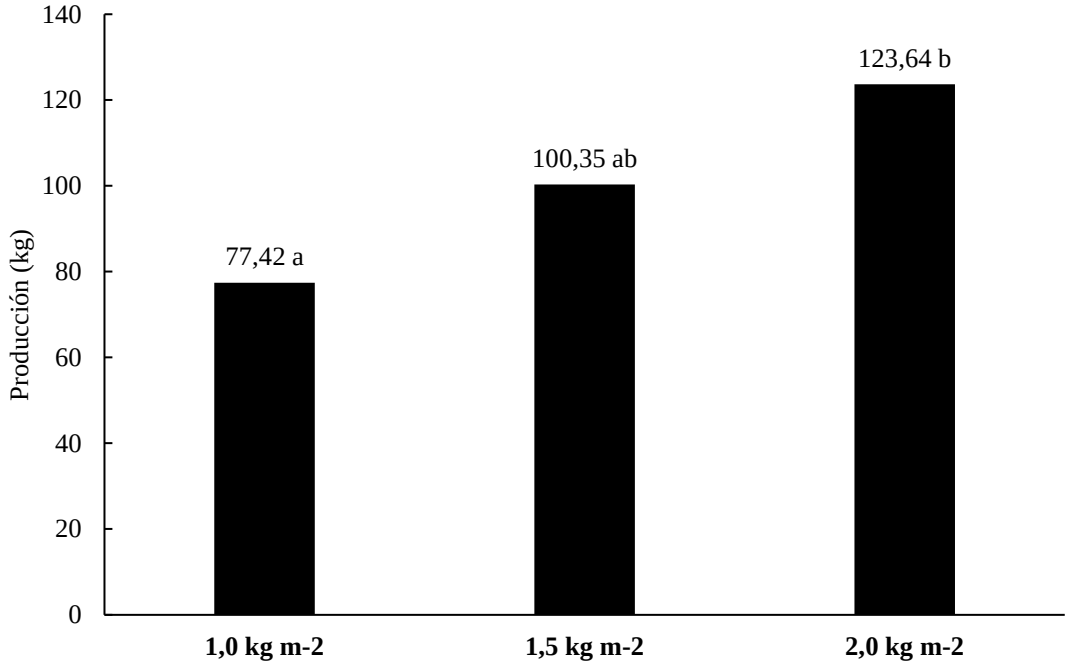
Tabla 15-4: Análisis de varianza de producción de humus de 3 densidades poblacionales de lombriz roja californiana.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3204,98	4	801,24	6,07	0,0544
Tratamiento	3204,96	2	1602,48	12,14	0,0200
Bloque	0,02	2	0,01	$6,5 \times 10^{-5}$	0,9999
Error	528,11	4	132,03		
Total	3733,09	8			
CV (%)	11,44%				

Elaborador por: Autores

En el análisis de varianza de la variable producción de humus, se identificaron diferencias significativas para la fuente de variación (densidad poblacional de lombrices), dado que el p-valor fue de 0,0200 y el coeficiente de variación fue de 11,44 %.

Se realizó la prueba de Tukey al 5 % (Grafica 13-4), donde se identificaron dos rangos de significancia donde la densidad de 2,0 kg m^{-2} de lombriz obtuvo un promedio de 123,64 kg siendo superior al resto de tratamientos. La densidad de 1,0 kg m^{-2} mostro el promedio inferior con 77,42 kg.



Grafica 13-4 Análisis de la variable producción de humus
Elaborado por: Autores

La producción de lombricomposta está directamente ligada a la cantidad de lombrices en actividad y al cuidado que se les proporcione. Cuanto mayor sea el número de lombrices, mayor será la producción de humus y ganancias. Para que la producción sea realmente eficiente deben considerarse algunos aspectos relacionados con el hábitat y la alimentación de las lombrices (León et at., 1992).

4.3.2 Composición físico-química del humus

Se analizó el producto final de la descomposición de la lombriz donde se observa el efecto de la maduración de los desechos de origen vegetal provenientes del Mercado Comité de Pueblo, previamente sometidos a una fase de precompostaje de 15 días. Sobre el pH y la disponibilidad de elementos químicos presentes en el humus se presentan en la Tabla 16-4.

Tabla 16-4: Composición físico-química del humus

Análisis del humus								
Densidad	N	P	K	Ca	Mg	pH	CE	MO
lombriz	- - - ppm - - -		- - - meq 100 mL^{-1} - - -				mS cm^{-1}	%
1,0 kg m^{-2}	73,75	346,98	15,48	24,58	6,28	8,62	9,30	40,77
1,5 kg m^{-2}	92,50	391,00	20,52	27,31	7,02	9,18	9,80	48,45
2,0 kg m^{-2}	98,50	405,64	25,08	28,98	7,46	9,42	10,95	51,84

Elaborador por: Autores

Los elementos evaluados en el análisis son los principales para el desarrollo de las plantas de manera general (N, P, K, Ca, Mg). Se puede observar que existe una relación positiva entre la densidad de la lombriz y la concentración de nutrientes, mientras mayor sea la densidad de lombrices que intervienen en la producción de humus mayor la concentración de nutrientes, lo que es beneficioso para el desarrollo de los cultivos tanto ornamentales como extensivos.

4.3.3 pH

Se realizaron análisis de varianza para cada semana observando diferencias estadísticas ($p<0.10$) para las 7 últimas semanas, en la primera semana no se observó diferencias significativas.

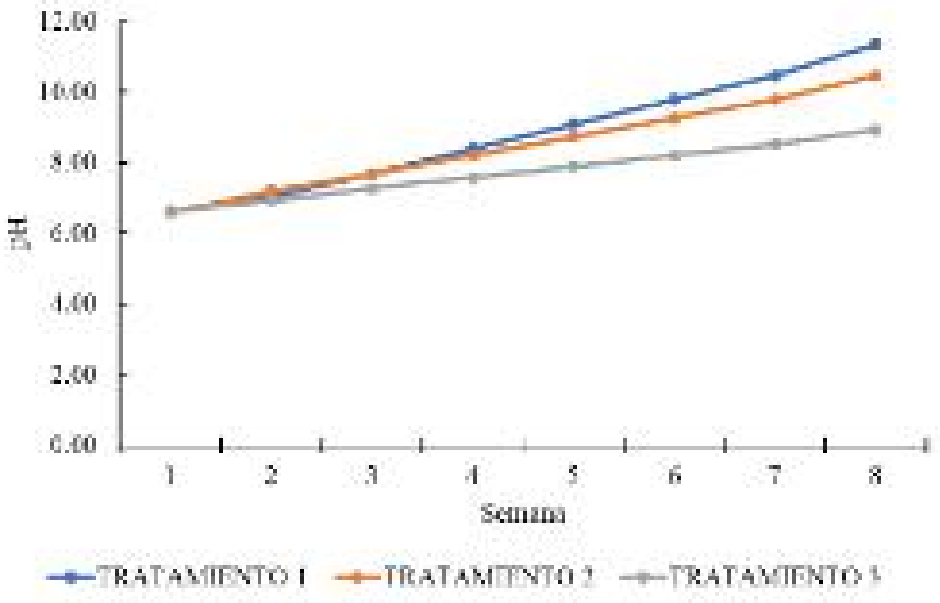
Tabla 17-4: Análisis de varianza del parámetro pH, datos semanales de 3 densidades poblacionales de lombriz roja californiana.

Semana	Tratamiento	F	p-valor	CV%	Media ± e.e.	Rangos Tukey 5%	
Semana 1	1,0 kg m^{-2}	0,05	0,9500	1,53	6,62 ± 0,04	a	
	1,5 kg m^{-2}				6,60 ± 0,06	a	
	2,0 kg m^{-2}				6,63 ± 0,11	a	
Semana 2	1,0 kg m^{-2}	17,97	0,0100	0,79	7,06 ± 0,02	a	b
	1,5 kg m^{-2}				7,21 ± 0,05		b
	2,0 kg m^{-2}				6,93 ± 0,03	a	
Semana 3	1,0 kg m^{-2}	5,91	0,0640	2,24	7,69 ± 0,11	a	
	1,5 kg m^{-2}				7,68 ± 0,09	a	
	2,0 kg m^{-2}				7,28 ± 0,06	a	
Semana 4	1,0 kg m^{-2}	5,88	0,0644	3,84	8,41 ± 0,21	a	
	1,5 kg m^{-2}				8,21 ± 0,14	a	
	2,0 kg m^{-2}				7,58 ± 0,12	a	
Semana 5	1,0 kg m^{-2}	5,34	0,0742	5,40	9,10 ± 0,31	a	

	1,5 kg m^{-2}				8,74 ± 0,21	a
	2,0 kg m^{-2}				7,89 ± 0,19	a
Semana 6	1,0 kg m^{-2}	5,07	0,0801	6,80	9,79 ± 0,42	a
	1,5 kg m^{-2}				9,27 ± 0,28	a
	2,0 kg m^{-2}				8,21 ± 0,25	a
Semana 7	1,0 kg m^{-2}	4,93	0,0833	8,03	10,48 ± 0,52	a
	1,5 kg m^{-2}				9,80 ± 0,35	a
	2,0 kg m^{-2}				8,53 ± 0,32	a
Semana 8	1,0 kg m^{-2}	4,80	0,0866	9,49	11,36 ± 0,66	a
	1,5 kg m^{-2}				10,47 ± 0,44	a
	2,0 kg m^{-2}				8,94 ± 0,41	a

Elaborador por: Autores

El pH fue incrementando en base al tiempo, hasta alcanzar valores alcalinos, lo cual es normal para un humus ideal (T1 = 11,37, T2 = 10,47, T3 = 8,94). Los valores en el análisis varían con los tomados directamente, debido al método de evaluación en laboratorio y campo.



Grafica 14-4 Análisis de la variable pH
Elaborado por: Autores

4.3.4 Humedad

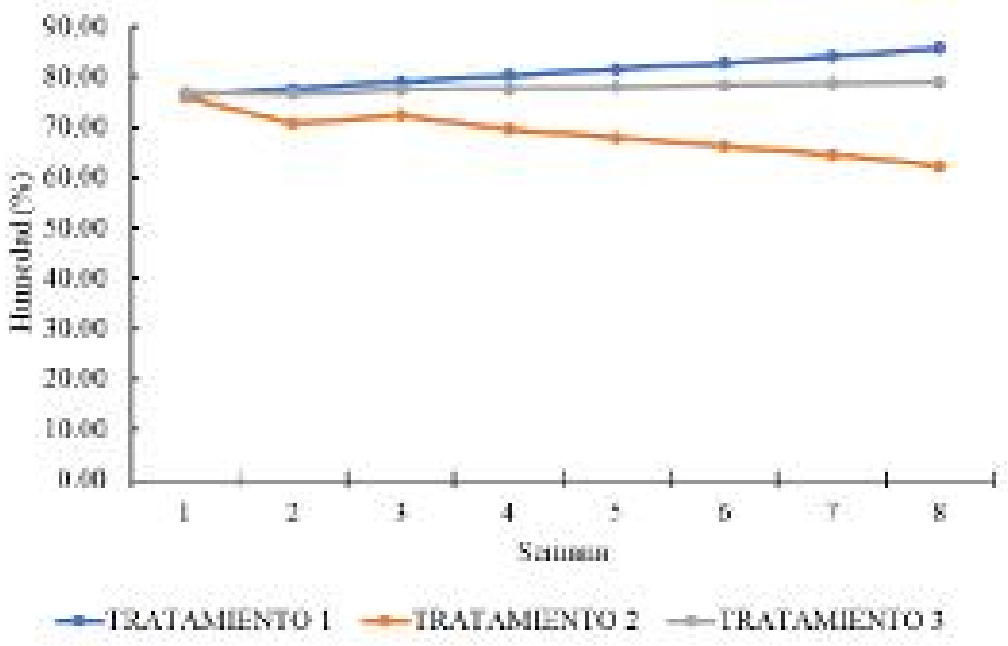
Se realizó el análisis de varianza para cada semana, en los cuales no se observaron diferencias estadísticas (Tabla 18-4), determinando que la densidad poblacional de lombriz no tiene efecto sobre la humedad.

Tabla 18-4: Análisis de varianza del parámetro Humedad, datos semanales de 3 densidades poblacionales de lombriz roja californiana.

Semana	Tratamiento	F	p-valor	CV%	Media ± e.e.	Rangos Tukey 5%
Semana 1	1,0 kg m^{-2}	1,09	0,4198	1,14	76,38 ± 0,58	a
	1,5 kg m^{-2}				75,90 ± 0,34	a
	2,0 kg m^{-2}				76,95 ± 0,39	a
Semana 2	1,0 kg m^{-2}	4,90	0,0841	3,87	77,67 ± 0,56	a
	1,5 kg m^{-2}				70,79 ± 3,19	a
	2,0 kg m^{-2}				76,67 ± 0,41	a
Semana 3	1,0 kg m^{-2}	3,58	0,1284	4,24	79,05 ± 0,64	a
	1,5 kg m^{-2}				72,29 ± 3,48	a
	2,0 kg m^{-2}				77,46 ± 0,56	a
Semana 4	1,0 kg m^{-2}	3,19	0,1485	7,10	80,23 ± 1,11	a
	1,5 kg m^{-2}				69,59 ± 5,65	a
	2,0 kg m^{-2}				77,66 ± 0,70	a
Semana 5	1,0 kg m^{-2}	2,95	0,1632	9,40	81,50 ± 1,51	a
	1,5 kg m^{-2}				67,89 ± 7,38	a
	2,0 kg m^{-2}				77,98 ± 0,86	a
Semana 6	1,0 kg m^{-2}	2,81	0,1732	11,71	82,77 ± 1,93	a
	1,5 kg m^{-2}				66,19 ± 9,11	a
	2,0 kg m^{-2}				78,29 ± 1,02	a
Semana 7	1,0 kg m^{-2}	2,71	0,1802	14,02	84,03 ± 2,36	a
	1,5 kg m^{-2}				64,49 ± 10,83	a
	2,0 kg m^{-2}				78,61 ± 1,18	a
Semana 8	1,0 kg m^{-2}	2,63	0,1868	17,00	85,66 ± 2,91	a
	1,5 kg m^{-2}				62,30 ± 13,05	a
	2,0 kg m^{-2}				79,02 ± 1,40	a

Elaborador por: Autores

La gráfica representa una muestra que las condiciones de humedad se han mantenido en niveles óptimos ya que se lo ha realizado de forma controlada lo que ha favorecido al tener una mezcla correcta de C/N y volteos semanales la actividad microbiana.



Grafica 15-4 Análisis de la variable humedad
Elaborado por: Autores

4.3.5 Temperatura

La temperatura del sustrato aumenta cuando se da el proceso de fermentación. En el caso de este estudio la fermentación se dio antes de los 15 días previos a suministrar el alimento. Durante el experimento se detectaron variaciones a la densidad de siembra de las lombrices a partir de la segunda semana. Para el análisis de varianza realizado para cada semana se observó diferencias estadísticas para las 7 últimas semanas, en la primera semana no se observó diferencias significativas (Tabla 19-4).

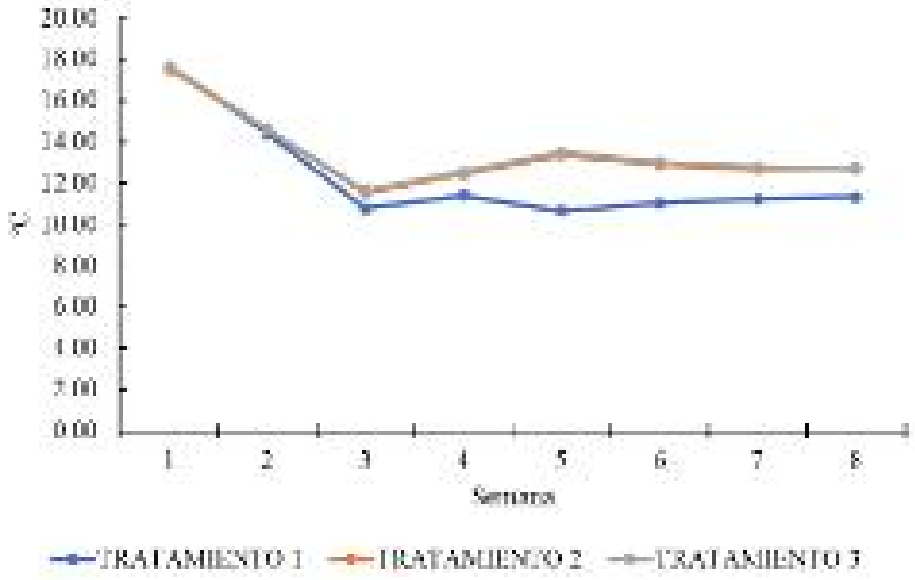
Tabla 19-4: Análisis de varianza del parámetro Temperatura, datos semanales de 3 densidades poblacionales de lombriz roja californiana.

Semana	Tratamiento	F	p-valor	CV%	Media ± e.e.	Rangos Tukey 5%
Semana 1	1,0 kg m^{-2}	1,42	0,3428	0,80	17,67 ± 0,16	a
	1,5 kg m^{-2}				17,50 ± 0,02	a
	2,0 kg m^{-2}				17,66 ± 0,01	a
Semana 2	1,0 kg m^{-2}	24,84	0,0056	0,30	14,38 ± 0,07	a
	1,5 kg m^{-2}				14,61 ± 0,05	b
	2,0 kg m^{-2}				14,58 ± 0,06	b
Semana 3	1,0 kg m^{-2}	14,91	0,0140	1,86	10,79 ± 0,24	a
	1,5 kg m^{-2}				11,54 ± 0,08	b
	2,0 kg m^{-2}				11,66 ± 0,16	b
Semana 4	1,0 kg m^{-2}	7,57	0,0437	3,22	11,41 ± 0,43	a
	1,5 kg m^{-2}				12,43 ± 0,13	a
	2,0 kg m^{-2}				12,54 ± 0,22	a

Semana 5	1,0 kg m^{-2}	19,40	0,0087	5,06	10,64 ± 0,83	a	
	1,5 kg m^{-2}				13,36 ± 0,17		b
	2,0 kg m^{-2}				13,49 ± 0,30		b
Semana 6	1,0 kg m^{-2}	19,71	0,0085	3,53	11,03 ± 0,58	a	
	1,5 kg m^{-2}				12,90 ± 0,15		b
	2,0 kg m^{-2}				13,02 ± 0,26		b
Semana 7	1,0 kg m^{-2}	15,10	0,0137	3,16	11,23 ± 0,48	a	
	1,5 kg m^{-2}				12,66 ± 0,14		b
	2,0 kg m^{-2}				12,78 ± 0,25		b
Semana 8	1,0 kg m^{-2}	22,02	0,0069	2,37	11,32 ± 0,45	a	
	1,5 kg m^{-2}				12,70 ± 0,17		b
	2,0 kg m^{-2}				12,66 ± 0,24		b

Elaborador por: Autores

Este fue uno de los parámetros más importantes en el proceso de compostaje con lombrices, el gráfico muestra a continuación el desarrollo de la temperatura en el transcurso del tiempo.



Grafica 16-4 Análisis de la variable Temperatura
Elaborado por: Autores

De acuerdo al monitoreo semanal de la temperatura del sustrato, se determinó que existe efecto a la densidad de siembra, en el tratamiento con mayor densidad se observaron valores más altos de temperatura. La temperatura del sustrato afecta el comportamiento de las lombrices; por lo que se debe mantener entre 19 y 26 ºC (León, Villalobos, Fraile y González, 1992).

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La determinación de los metros cúbicos de basura que genera el mercado indica que semanalmente el total de residuos ocuparía 5 metros cúbicos dentro de un relleno sanitario, siendo el día sábado el que genera mayor cantidad de residuos con 1metro cúbico.
- El Mercado Comité de Pueblo es fuente de materia prima para la alimentación de la lombriz roja californiana ya que del total de residuos generados semanalmente la fracción de materia orgánica que se puede aprovechar es de 78,5 %.
- La correcta selección de los residuos aprovechables para la alimentación de la lombriz roja californiana al momento de homogenizar tuvo una relación C/N de 34/1, esto indica que el sustrato con el que se alimentó a las lombrices se encuentra dentro del rango óptimo.
- A mayor temperatura se obtuvo una elevada actividad de los microorganismos, se concluye, que la temperatura del humus tiene relación directa con la actividad de los microorganismos y las lombrices.
- La densidad de siembra de 2 kg lombrices/m^2 mostró mejores resultados en cuanto a la capacidad de procesamiento de desechos orgánicos producidos del Mercado Comité del Pueblo, Quito
- El N, P, K, Ca, Mg fueron similares entre los 3 tratamientos, observando una relación positiva al incremento de las densidades de siembra de las lombrices a mayor cantidad de lombriz mayor contracción de nutrientes.

5.2 Recomendaciones

- Buscar apoyo del Municipio Metropolitano de Quito, Ministerio de Ambiente y Agua u otros para desarrollar planes y programas para motivar, incentivar y concientizar a todas las personas que conforman el mercado en el manejo adecuado de los residuos sólidos.
- Se recomienda tener un control de temperatura para las distintas fases del proceso de lombricultura para aprovechar de manera eficiente la acción de los microrganismos y lombrices y así disminuir el tiempo de transformación de la materia orgánica vegetal.
- Mantener el pH en un rango óptimo para que la acción de los microorganismos no pierda sus propiedades fisiológicas en el transcurso del proceso.
- Cuando las metas del lombricompostaje, sea la producción de humus de lombriz o lombricompost, se deben utilizar densidades de siembra altas (>2.0 kg de lombriz/m^2).

CAPITULO V

6. Bibliografía

Acevedo, A., Leos, A., Figueroa, U., & Romo, J. (2017). Política ambiental: uso y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera. *Acta Universitaria*, 27(4) 3-12.

Acosta, C., Solís, O., Villegas, O., & Cardoso, L. (2017). *Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de Eisenia Foétida.* Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Alarcón, A. *(2019). Evaluación y formulación de alternativas para el mejoramiento del proceso de aprovechamiento de residuos industriales generados por empresas de alimento primordialmente que son llevados a disposición final a la planta crear vida S.A.S.* Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Alvaro, M., & Olives, A. (2016). *Identificación del potencial aprovechable de los residuos sólidos orgánicos que se generan en mercados, supermercados, parques, jardines y diferentes sectores industriales de la zona sur del Distrito Metropolitano de Quito.* Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Arce, H., & Mori, M. (2020). *Efecto de tres tipos de dieta alimenticia para "Lombriz roja californiana" Eisenia Foetida a partir de residuos orgánicos domiciliarios para obtención de humus - 2020.* Universidad César Vallejo, Chiclayo, Peru.

Avila, D. (2018). *Propuesta para el manejo integral de los desechos sólidos de la población urbana del cantón Nabón.* Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Camiletti, J. (2016). *Estudio del vermicompostaje de compost de distinta naturaleza.* (Tesis maestria, Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche, España). Obtenido de http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2820/1/TFM%20Camiletti%20Morales%2C%20Justin.pdf

Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval, L., & Caycho, C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *AIDIS*, 1(1), 1-14.

Carrera, M. (2019). Lombricultura un filón en abandono. Pérdidas económicas, ambientales y sociales. *Revista Alfa*, 3(8) 77-85.

Ccasani, N., & Poma, A. (2012). *Evaluación de la densidad poblacional, peso y longitud de la lombriz roja californiana (eisenia foetidia) alimentadas en estiercol y compost de bovino y ovino.* Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

CONQUITO. (2017). *Agencia De Promoción Económica*. Obtenido de Http://Www.Conquito.Org.Ec/Quito-Entra-EnLa-Generacion-De-Economia-Circular/

Cuadro, E. (2019). *Implementación de un lombricultivo, mediante el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, generados al interior de los Centros de Desarrollo Infantil; la Finquita, Camellitos y Rincón Mágico del municipio de Caucasia.* Universidad Nacional Abierta y A Distancia, Antioquia, Colombiana.

Cueva, M., & Salazar, P. (2017). *Lombricultura en la península de Santa Elena para promover el cultivo de productos agrícolas con sello verde en base a lompricompuestos.* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Cuvi, N. (2015). Residuos sólidos en América Latina: gestión, políticas públicas y conflictos socioambientales. *Letras verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales Flacso - Ecuador* , 17: 1-3.

Cuzco, E. (2019). *Evaluación de diferentes sustratos en la producción de Lombriz Roja Californiana (Eisenia foetida), Chachapoya-Perú.* Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Delgado, J. (2015). *El uso de la lombricultura en cultivos de ciclo corto y su incidencia en la conservación del suelo agrícola en el sitio punto y filo del cantón Chone.* Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.

Diago, V. (2016). *Formulación de una metodología de regeneración de suelos mediante la lombricultura en Ricaurte, Cundinamarca.* Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Giunta, S., Velasquez, E., Zutara, M., & Escalante, C. L. (2019). Evaluación de sustratos orgánicos para la producción de lombriz de tierra. *Difusiones*, 45(4) 68-74.

Guerra, D. (2020). *Diseño e implementación de un proyecto de lombricultura para la obtención de humus a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en el Asilo San José – Tunja (Boyacá).* Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD, Boyacá, Colombia.

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2016). *La materia orgánica, importancia y experiencias desu uso en la agricultura.* IDESIA, Santiago, Chile.

León, S., Villalobos, G., Fraile, J., & González, N. (1992). Cultivo de lombrices (Eisenia foetida) utilizando compost y escretas animales. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 23-28.

Luna, G., & Mendoza, N. (2020). Condiciones ambientales y microorganismo adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. *Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1) 45-53.

Macías, L., Páez, M., & Torres, G. (2018). *La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios.* Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, C.D México, México.

Mesías, T. (2011). *Efecto de población de lombrices californianas en la descomposición de subproductos de Abacá (Musa Textilis Née) para la obtención de humus.* Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

Pradas, A. (2020). *Tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje: Interacciones lombriz-microorganismo y aplicaciones biotecnológicas del vermicompost.* Universidad de La Laguna, San Cristóbal, España.

Samaniego, E. (2019). *Diseño de un sistema de compostaje a partir de los residuos sólidos orgánicos del mercado central municipal del Cantón Montalvo, Provicia de Los Ríos.* Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Sánchez, J. (2017). *Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia. Caracterización del producto.* Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Santos, C. (2017). *Eficencia de tres sustratos orgánicos para la obtención de humus de Lombriz Roja Californiana (Eisenia foetida) en San Juan de Lurigancho, 2017.* Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

Solíz, T. (2015). Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador. *Letras verdes Latinoamericana De Estudios Socioambientales*.

Terán, A. (2017). *Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos.* Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador.

Tigselema, I., Villareal, K., & Yánez, P. (2019). El manejo de residuos dentro del contexto de turismo sostenible en empresas de alojamiento de Puerto Quito, Ecuador. *Revista de Investigación de la Ciencia Turística*, 1(13), 62-75.

Urrutia, C. (2019). *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, Bogotá, Colombia.

Urrutia, C., & Leguízamo, J. (2019). 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 Tomas.* Villavicencio, Colombia.

Vargas, O., Alvarado, E., López, C., & Cisnero, V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5) 83-91.

Velásquez, K. (2020). *Proyecto CICLO: Parque Temático de Compostaje y Lombricultura en Plan Maestro Laguna Carén.* Universidad de Chile, Santiago, Chile.

7. Anexos

Anexo1. Visita al Mercado Comité del Pueblo

	
Socialización a los comerciantes del Mercado Comité del Pueblo	Aceptación del administrador del mercado para realizar el proyecto

Anexo2. Determinación del volumen del tacho

	
Medición de la altura del tacho con la ayuda de un flexómetro.	Medición del diámetro del tacho con la ayuda de un flexómetro.

Anexo3. Determinación de los metros cúbicos de basura

	
Movimiento del recipiente para evitar espacios entre residuos.	Llenado de tachos con residuos

Anexo4. Pesaje total de basura

	
Pesaje de costales de residuos	Pesaje de costales de residuos

Anexo 5. Cuarteo de residuos

	
Homogenización de la muestra	División del cúmulo de residuos en cuatro partes


Cúmulos finales aptos para la caracterización de residuos

Anexo 6. Pesaje de residuos por componentes

	
Muestras por componentes	Pesaje por componentes

Anexo 7. Selección de alimentos aptos para la lombriz roja californiana

	
Separación de residuos aptos para lombricultura	Frutas aptas para la alimentación de la lombriz roja californiana



Transporte de residuos aprovechables para la alimentación de lombriz

Anexo 8. Precompostaje de residuos



Trituración de alimentos aptos para la lombriz roja californiana

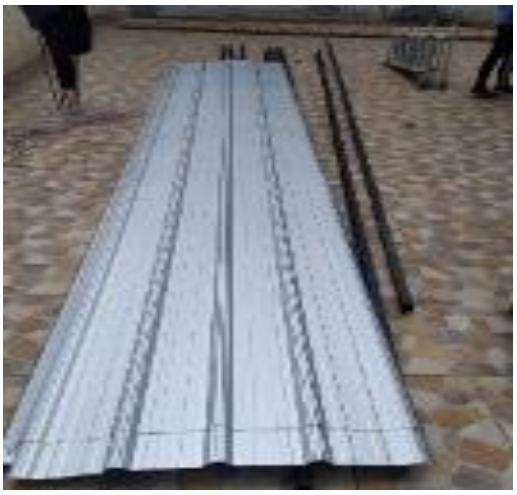


Precompostaje de residuos (15d)

Anexo 9. Pesaje de sustrato alimenticio

	
Pesaje del alimento para cada tratamiento (7Kg)	Pesaje del alimento para cada tratamiento (7Kg)

Anexo 10. Construcción de cubierta metálica para el lombricultivo

	
Soldadura de la estructura	Techo de la infraestructura

Anexo 11. Construcción de camas para lombricultivo

	
Madera utilizada para la construcción de camas	Avance de la construcción de camas para lombricultura


Lombricultivo terminado

Anexo12. Preparación de camas para lombricultivo



Colocación de material seco como base en el lombricultivo

Anexo13. Pesaje de pie de cría de lombriz roja californiana



Recolección de lombrices manualmente



Pesaje de lombrices (1Kg)

	
Pesaje de lombrices (1,5Kg)	Pesaje de lombrices (2Kg)

Anexo 14. Siembra de lombrices

	
Siembra de lombrices rojas californianas *(Eisenia Foétida)*	Siembra de lombrices rojas californianas *(Eisenia Foétida)*

	
Siembra de lombrices rojas californianas *(Eisenia Foétida)*	Siembra de lombrices rojas californianas *(Eisenia Foétida)*

Anexo 15. Alimentación con sustrato uniforme

	
Colecta de alimento precompostado	Alimento suministrado en cada uno de los lechos

Anexo 16. Medición de Temperatura

	
Registro de temperatura de los tratamientos 1, 2 y 3.	Registro de temperatura de los tratamientos 1, 2 y 3.

Anexo17. Medición de humedad



Registro de humedad de los tratamientos 1, 2 y 3.

Anexo18. Medición de pH



Registro de pH de los tratamientos 1, 2 y 3.



Registro de pH de los tratamientos 1, 2 y 3.



Registro de pH de los tratamientos 1, 2 y 3.

Anexo19. Cosecha de humus

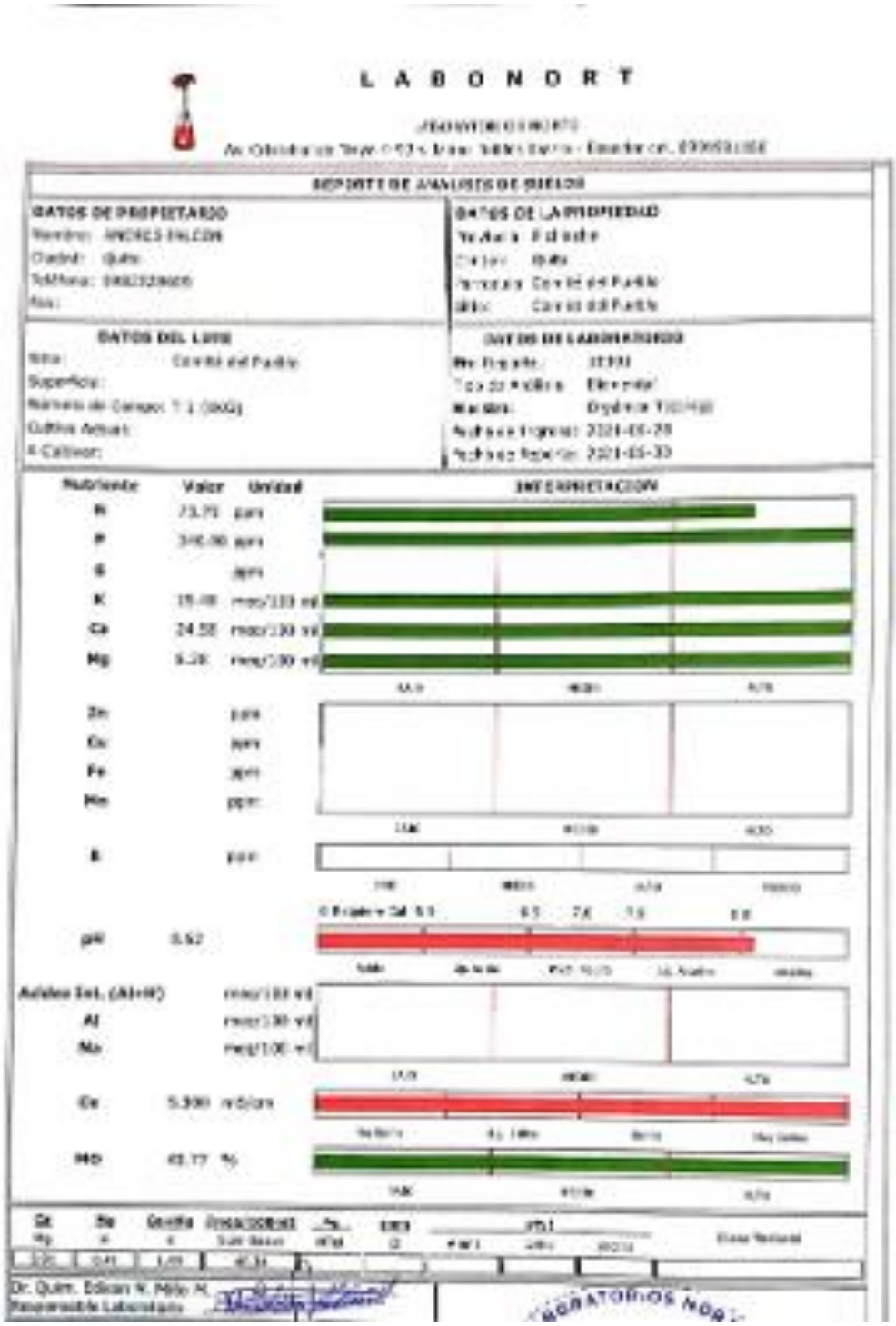


Cosecha de humus

Anexo20. Transporte de muestras

	
Muestras de humus colectadas de los 3 tratamientos	Laboratorio donde se enviaron las muestras para el análisis.

Anexo 21. Análisis físico – químico de muestras tratamiento 1



L A B O N O R T

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO

DATOS DE LA PROPIEDAD

DATOS DEL LOTE

DATOS DE LABORATORIO

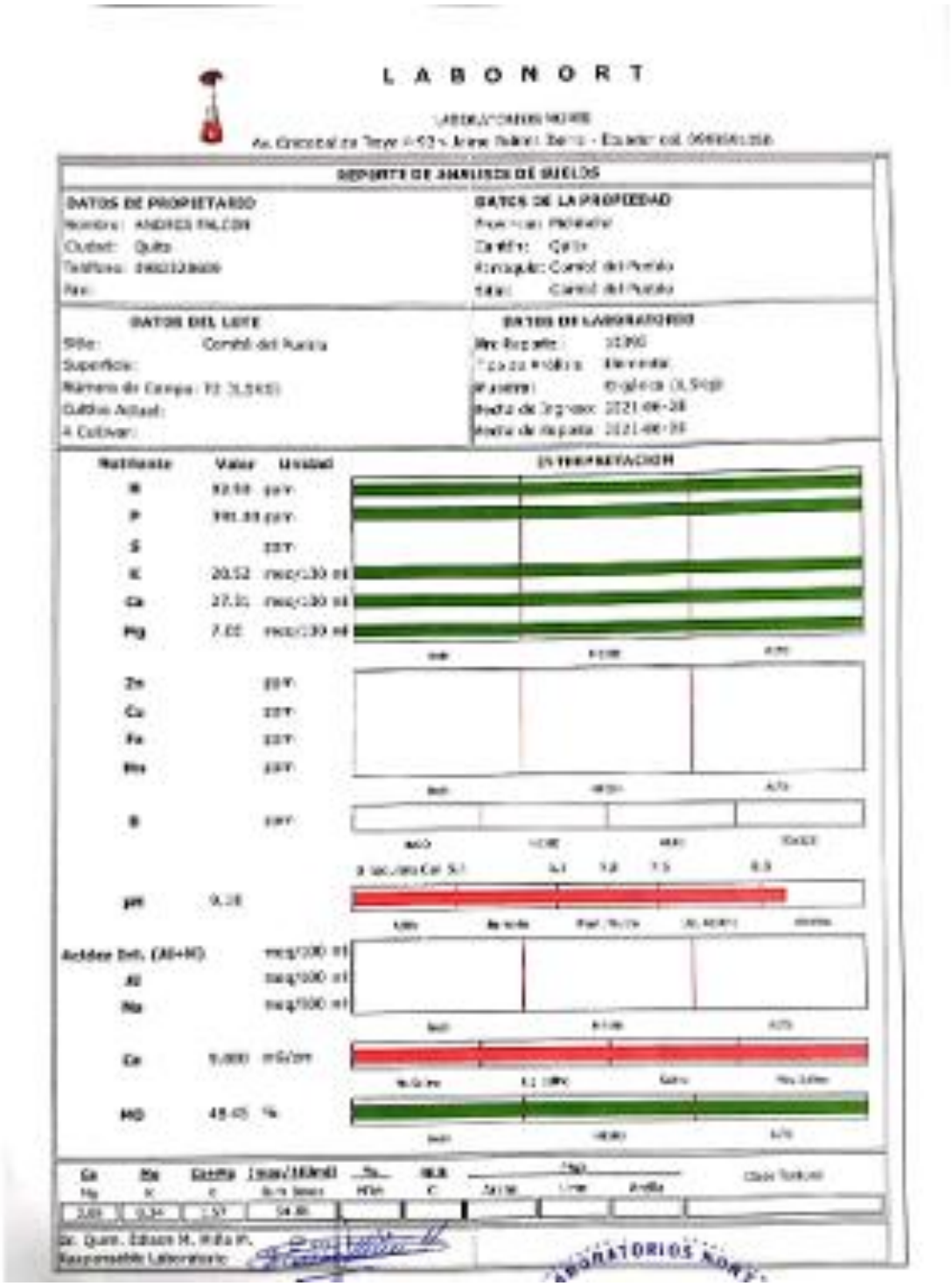
Nutriente	Valor	Unidad
N	73.75	ppm
P	340.00	ppm
S		ppm
K	15.48	meq/100 ml
Ca	24.58	meq/100 ml
Mg	6.28	meq/100 ml
Zn		ppm
Cu		ppm
Fe		ppm
Mn		ppm
B		ppm
pH	8.62	
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml
Al		meq/100 ml
Na		meq/100 ml
Ce	5.300	mS/cm
MO	43.77	%

INTERPRETACION

Dr. Quím. Edison N. Mejía M.
Responsable Laboratorio

LABORATORIOS NOR

Anexo 22. Análisis físico – químico de muestras tratamiento 2



L A B O N O R T

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristóbal de Troya N-52 y Jaime Roldós Iberra - Ecuador cel. 0969841258

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO	DATOS DE LA PROPIEDAD
Nombre: ANDRES FALCON	Provincia: Pichincha
Ciudad: Quito	Cantón: Quito
Teléfono: [illegible]	Parroquia: Comité del Pueblo
Fax:	Sitio: Comité del Pueblo

DATOS DEL LOTE	DATOS DE LABORATORIO
Sitio: Comité del Pueblo	Nro Reporte: [illegible]
Superficie:	Tipo de Análisis: Elemental
Número de Campo: [illegible]	Muestra: Orgánica (1,5kg)
Cultivo Actual:	Fecha de Ingreso: 2021-06-28
A Cultivar:	Fecha de Reporte: 2021-06-28

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	[illegible]	ppm	
P	[illegible]	ppm	
S		ppm	
K	20.52	meq/100 ml	
Ca	[illegible]	meq/100 ml	
Mg	[illegible]	meq/100 ml	
Zn		ppm	
Cu		ppm	
Fe		ppm	
Mn		ppm	
B		ppm	
pH	[illegible]		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na		meq/100 ml	
Ce	[illegible]	mS/cm	
MO	[illegible]	%	

Ca	Mg	Ca+Mg	[illegible]	%	[illegible]	Tipo			Clase Textural
Na	K	K	[illegible]	[illegible]	C	Arena	Limo	Arcilla	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]						

Dr. Quím. Edison M. Villa M.
Responsable Laboratorio

LABORATORIOS NORTE

Anexo 23. Análisis físico – químico de muestras tratamiento 3

