INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VERMICOMPOSTAJE RESIDENCIAL PARA LA GENERACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS.

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

P R E S E N T A

FLORICEL RIOS SALAMANCA

DIRECTOR: M.C. YOVANI LOPEZ GONZALEZ

CO-DIRECTOR: DR. JUDITH ABIGAIL SANCHEZ LEDESMA

MISANTLA, VERACRUZ FEBRERO, 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 11 DE MARZO DEL 2024
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

RIOS SALAMANCA FLORICEL

Pasante de la carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL** con no. de Control **192T0699** ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la **opción Titulación Integral (TESIS PROFESIONAL)**

Por tal motivo se **AUTORIZA** la impresión del tema titulado:

"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VERMICOMPOSTAJE RESIDENCIAL PARA LA GENERACIÒN DE ABONOS ORGÁNICOS."

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

LIC. JANETH LÓPEZ CARDEÑA
COORDINADORA DE ESTUDIOS PROFESIONALES

SEP SEV
INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR DE MISANTLA

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Archivo.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco al Instituto Tecnológico Superior de Misantla por otorgarme el privilegio de realizar mi licenciatura en Ingeniería Ambiental.

A mi director de tesis, el M. C. Yovani López González por instruirme, guiarme con sabiduría y paciencia en todo este proceso y a mi codirectora, la Dra. Judith Abigail Sánchez Ledesma, por brindarme de su valioso tiempo y siempre estar al pendiente de mi trabajo.

A la academia de Ambiental por brindarme los conocimientos necesarios para realizar de manera correcta esta tesis, en especial a todos los maestros que me impartieron clases en algún momento.

A todo el equipo administrativo del Instituto Tecnológico Superior de Misantla por facilitar en todo momento los documentos necesarios para realizar los trámites solicitados.

A las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron en este trabajo. A mis amigos más cercanos que siempre me dieron palabras de ánimo y me alegraron esos días de cansancio y estrés.

Dedicatoria

Dedico este presente a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida acompañada de mis seres amados.

A mis padres el Sr. Raúl Rios Aranda y Sra. Margarita Salamanca Castillo, por su inmenso apoyo, por nunca dejar de creer en mí, amarme y cuidarme, al igual que darme un sustento económico para poder lograr esta meta personal.

A mis abuelos Martín Salamanca y Guadalupe Joaquín por enseñarme valores muy importantes desde que tengo uso de razón.

A mis hermanos Yoselin Rios Salamanca, Aldo Damián Rios Salamanca y a mi cuñada Sandra Escobar por darme palabras de aliento, creer en mí y siempre acompañarme en este trayecto.

A una chica muy especial e importante para mí, Sandra Natividad Martínez González, por darme ánimos, por siempre comprenderme y apoyarme.

Floricel Rios Salamanca

RESUMEN

La generación de los residuos orgánicos en países en desarrollo genera grandes problemas debido a la mala gestión que se tiene, estos residuos llegan a tiraderos a cielo abierto, por lo cual es necesario desarrollar tecnologías que permitan el aprovechamiento de estos.

El desarrollo de prototipos para la producción de vermicompostaje es una de las alternativas que en los últimos años ha venido creciendo, siendo una de las opciones más rentables para el tratamiento de dicho residuos y obtención de un producto que genere un valor económico. Por este motivo, el presente trabajo tuvo como objetivo adecuar y evaluar un prototipo para el proceso de vermicompostaje utilizando la especie de *Eisenia Foetida*. Se propusieron dos diseños, el primero se realizó en AutoCAD 2018 y el segundo en Autodesk 2023, siendo este último el prototipo construido y evaluado en el presente trabajo**.** Para poder realizar este trabajo fue necesaria la caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos respecto a las NMX-AA-022-1985 y NMX-AA-15-1985, cabe mencionar que fueron adaptadas para residuos orgánicos. La humedad, temperatura, pH, C.E. y biomasa de lombrices son parámetros que se monitorearon durante todo el proceso de vermicompostaje para evaluar la eficiencia del prototipo diseñado y construido. Al final del proceso se evaluó la calidad del humus de lombriz: tamaño de partícula, humedad, C.E, pH, fitotoxicidad y determinación de materia orgánica. La evaluación del humus de lombriz cumplió 6 parámetros de 11 que dicta la NMX-AA-180-SCFI-2018. Se obtuvieron valores bajos en materia orgánica y fitotoxicidad, sin embargo, también se encontraron valores altos de macronutrientes primarios y granulometría.

Palabras claves: Prototipo, *Eisenia foetida*, residuos orgánicos, vermicompostaje.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES 11

1.1 Introducción 11
1.2 Planteamiento del problema 12
1.3 Justificación 14
1.4 Objetivos 16
1.4.1 General 16
1.4.2 Específicos 16

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 17

2.1 Agricultura sustentable. 17
2.2 Diferencias entre agricultura sustentable y agricultura tradicional. 19
2.3 Impacto al medio ambiente por la agricultura intensiva. 21
2.4 Abonos orgánicos. 23
2.4.1 Mejoras a las características físicas del suelo. 23
2.4.1.1 Efectos del compost sobre la densidad aparente. 23
2.4.1.2 Efectos del compost sobre la tasa de infiltración. 24
2.4.1.3 Efectos del compost sobre la conductividad hidráulica. 24
2.4.1.4 Efectos del compost sobre el contenido de agua. 24
2.4.2 Características biológicas. 25
2.4.3 Características químicas. 26
2.5 Composta. 26
2.5.1 Ventajas del compostaje. 28
2.5.2 El compost como estrategia de biorremediación. 28
2.5.3 Parámetros que se deben medir en el proceso de compostaje. 30
2.6 Bocashi 31
2.6.1 Ventajas del Bocashi. 31
2.6.2 Desventajas del Bocashi. 31
2.7 Vermicompost o lombricomposta. 32
2.7.1 Historia 33
2.7.2 Beneficios que aporta la vermicompost al suelo. 34
2.7.3 Características de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). 37

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS 38

3.1 Descripción del sitio de investigación. 38
3.2 Caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos. 39
3.3 Diseño y construcción del prototipo para la producción de abono orgánico. 41
3.3.1 Construcción. 47
3.4 Cálculo de la composición C:N de los residuos orgánicos. 48

3.5 Acondicionamiento de las lombrices al sistema. 51
3.6 Monitoreo del proceso de vermicompostaje. 52
3.6.1 Determinación de porcentaje de humedad. 52
3.6.2 Medición de temperatura. 53
3.6.3 Medición de pH y conductividad eléctrica. 54
3.6.4 Biomasa de las lombrices. 55
3.7 Evaluación de la calidad del vermicompostaje. 56
3.7.1 Análisis del tamaño de partículas del humus de lombriz. 56
3.7.2 Prueba final de la medición de humedad, conductividad eléctrica y pH. 56
3.7.3 Fitotoxicidad....56
3.7.4 Determinación de carbono orgánico oxidable en suelo (materia orgánica). 58
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN....62
4.1 Prototipo construido y evaluado. 62
4.1.1 Elección del prototipo....62
4.2 Resultado de la caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos....64
4.3 Resultados de los parámetros monitoreados durante el proceso de vermicompostaje. 65
4.3.1 Potencial hidrógeno (pH). 65
4.3.2 Monitoreo de C.E. (Conductividad eléctrica)....66
4.3.3 Monitoreo de temperatura....66
4.3.4 Monitoreo de humedad. 67
4.4 Monitoreo de biomasa. 68
4.5 Análisis de fitotoxicidad. 70
4.6 Resultados finales de los parámetros analizados. 70
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES....72
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA....73

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de compostaje para la biorremediación. 29
Tabla 2. Rango ideal de los parámetros del compostaje. 30
Tabla 3. Materiales utilizados para la elaboración de abono orgánico Bocashi. 32
Tabla 4. Condiciones ambientales para la producción de vermicompost. 37
Tabla 5. Material para la construcción del primer diseño propuesto. 42
Tabla 6. Desventajas del diseño antes mencionado. 43
Tabla 7. Relación C:N de materiales usados en la elaboración de vermicompostaje. 48
Tabla 8. Rangos permisibles de los parámetros a medir en los tipos de composta. 61
Tabla 9. Tabla comparativa de los prototipos propuestos. 62
Tabla 10. Tabla comparativa de los precios de las dos propuestas de prototipos. 63
Tabla 11. Dimensiones de los dos prototipos propuestos. 63
Tabla 12. Residuos orgánicos del centro de Misantla. 64
Tabla 13. Porcentaje de índice de germinación 70
Tabla 14. Datos obtenidos del estudio realizado de vermicompostaje. 70

LISTADO DE IMÁGENES

Figura 1. Dimensiones de la agricultura sustentable. Fuente: Elaboración propia. 17
Figura 2. Asociación de cultivos. Fuente: El mexiquense (2020). 19
Figura 3. *Chinampas* de Xochimilco, Ciudad de México. Fuente: Tecnología Hortícola (2020). 21
Figura 4. Esquema del proceso de descomposición de los restos orgánicos y la formación de humus en el suelo Fuente: Ibáñez (2022). 27
Figura 5. Muestra de vermicomposta Fuente: Agromática (2024). 27
Figura 6. Proceso de la elaboración de Bocashi. Fuente: Regenadores del suelo (2014). 31
Figura 7. Proceso de la generación de vermicompost. Fuente: Mikolic et al., (2018). 33
Figura 8. Micrografía electrónica de una muestra de vermicompost a 1000X. Fuente: Segura (2018). 36
Figura 9. Anatomía interna de la lombriz de tierra. Fuente: Sección Fisiología (2024). 37
Figura 10. Ubicación del Municipio de Misantla. 38
Figura 11. Ubicación del LIAAp. 39
Figura 12. Realización del método de cuarteo de residuos orgánicos. 40
Figura 13. Pesaje del subproducto orgánico en báscula digital. 40
Figura 14. Estructura completa del diseño con las medidas de altura y ancho dadas en centímetros. 41
Figura 15. Vistas de diseño en diferentes ángulos. A) Se muestra el corte en "x" B) vista superior C) Se muestra el corte en “y”. 42
Figura 16. Recipiente utilizado para el sistema propuesto, el cual cuenta con una base circular. 44
Figura 17. Sistema del vermicompostaje en corte transversal. 44
Figura 18. Manivela mecánica para la trituración de los residuos orgánicos. 45
Figura 19. Rejilla metálica para el soporte de la manivela mecánica. 45
Figura 20. Pieza implementada para el proceso de trituración. 46
Figura 21. Malla metálica para el tamizado de humus. 46
Figura 22. A) Se muestra como fueron pintadas las piezas de metal B) se observa cómo se realizaron los orificios al recipiente C y D) lijado de las piezas. 47
Figura 23. Caracterización de los residuos orgánicos. 49

Figura 24. A) Horno utilizado para determinar el porcentaje de humedad de los residuos orgánicos. B) Desecador utilizado en las pruebas.....50
Figura 25. Calculadora de la Universidad de Cornell. Fuente: Universidad de Cornell (1996).....51
Figura 26. Calculadora online para obtener la relación C/N. Fuente: Universidad de Cornell (1996). 52
Figura 27. Pesaje de muestra de vermicompostaje para determinación de humedad. 53
Figura 28. Medición de la temperatura en la vermicomposta. 53
Figura 29. Muestra previa a la agitación. 54
Figura 30. A) Demostración de la medición de pH. B) Medición de la conductividad eléctrica. 55
Figura 31. A) Método aleatorio para la selección de lombrices. B) Realización de la medición de lombrices. 55
Figura 32. Se aprecia la muestra para analizar conductividad eléctrica y pH. 56
Figura 33. A) Conteo de semillas. B) Incubadora utilizada para el proceso de germinación. 57
Figura 34. A) Solución de sacarosa. B) Procedimiento de aforo con agua destilada de los patrones. 58
Figura 35. Muestras patrones en el horno. 59
Figura 36. Se muestra el procedimiento para agregar el dicromato de potasio. B) Muestras en reposo por 12 horas. 59
Figura 37. Medición de las muestras en el espectrofotómetro. 60
Figura 38. Seguimiento del pH durante los 3 meses del proceso de vermicompostaje. ...65
Figura 39. Resultado de la C.E. en 12 semanas de monitoreo. 66
Figura 40. Medición de temperatura °C. 67
Figura 41. Medición de % de humedad. 68
Figura 42. Correlación lineal entre el peso y la longitud de lombrices *Eisenia foetida.* 69
Figura 43. Datos obtenidos de la correlación lineal realizada. 69

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El vermicompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado (Camiletti, 2016). La productividad global de alimentos está fuertemente vinculada, ya sea de manera directa o indirecta, al suelo en más del 95% (Burbano, 2016). Las civilizaciones antiguas apreciaron la contribución de las lombrices a la fertilización del suelo, para Charles Darwin estos organismos vivos también fueron considerados importantes, ya que su función de descomponer la materia orgánica beneficiaba al suelo las consideró como organismos importantes en el suelo por su papel en la descomposición de materiales vegetales muertos (Edwards, 2004 citado por Villegas y Laines, 2017).

La agricultura es muy importante debido a la gran cantidad de alimentos que obtenemos de esta, sin embargo, desgasta y hace que el suelo quede infértil. El vermicompostaje proporciona fertilidad y nutrientes necesarios para la producción de cultivo y crecimiento de este mismo. También ejerce un control biológico contra plagas, las cuales si no son controladas dan como resultado la afectación de la producción de los cultivos (Villegas y Laines, 2017).

A escala mundial, la agricultura desempeña un papel significativo en el fenómeno del cambio climático, contribuyendo con el 14% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Esta cifra se incrementa al 30% cuando se incorporan también los efectos de la deforestación y las alteraciones en el uso del suelo. No obstante, la agricultura tiene el potencial de contribuir con creces en la mitigación de este fenómeno mundial, a través de la reducción y/o eliminación de una cantidad significativa de las emisiones globales: en torno a un 70% de este potencial de mitigación se puede llevar a cabo en los países en desarrollo (Rodríguez, 2021).

1.2 Planteamiento del problema

La generación excesiva de residuos orgánicos, que son considerados residuos no útiles, sigue incrementando a medida que crece la población, esto da como resultado que el problema de la generación de este tipo de residuos aumente año tras año. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) anualmente se desperdician 1.300 billones de toneladas de alimentos en el mundo, lo que representa el 33% de la oferta de alimentos disponible para consumo humano, de los cuales el 50% son productos de la producción y la transformación de frutas y hortalizas, 30% cereales y 20% de productos del sector ganadero (Marmolejo et al., 2010 citados por Vargas, Trujillo y Torres, 2019).

En el año 2006 en México se produjeron 94 800 toneladas de residuos por día, el 53% de estos residuos son residuos orgánicos, el 28%, de residuos potencialmente reciclables y 19%, no son utilizados. Solo el 87% de los residuos orgánicos son recolectados y de estos solo el 64% se envían a rellenos sanitarios y 21 sitios controlados, el resto se depositan en tiraderos a cielo abierto y en sitios sin control (Carrasco y Rodríguez, 2015). Según la Coordinación Universitaria para la Sustentabilidad UV, (2024), en el estado de Veracruz se generan 6 mil toneladas de residuos diarias, en la capital se producen aproximadamente 400 toneladas de residuos, de los cuales el 70% son aprovechables, y de este porcentaje la mitad corresponde a residuos orgánicos.

Como se ha planteado, la mayor cantidad de estos desechos generados son residuos orgánicos, esto provoca que se reduzca el espacio del sitio de disposición final al igual que provoca una contaminación al suelo y mantos acuíferos cercanos por medio de lixiviados que se generan por la descomposición de los residuos orgánicos, también generación de gases por la descomposición de estos, dando como resultado la contaminación del aire, esto puede provocar un potencial riesgo para la salud humana.

La región Centro-Norte de Veracruz no cuenta con una buena gestión de los residuos orgánicos que se generan diariamente, esto da como resultado la acumulación en el sitio de disposición final sin un tratamiento, lo que representa un

riesgo a la salud humana y al ambiente. La región Centro-Norte de Veracruz cuenta con varios cuerpos de aguas subterráneos, los cuales pueden ser contaminados por los lixiviados producidos por la descomposición de residuos orgánicos en el sitio de disposición, al igual que el suelo.

1.3 Justificación

Existen distintas tecnologías para el tratamiento de los residuos orgánicos que hoy en día son un problema ambiental, entre las cuales se pueden destacar las tecnologías de transformación térmica como la incineración y la clasificación. Por otro lado, existen las tecnológicas biológicas entre las cuales destacan la fermentación; que consiste en la reacción de la materia orgánica con microorganismos anaeróbicos, de la cual se genera biogás y fertilizantes; el compostaje; que es un proceso que consiste en la degradación mediante microorganismo anaerobios que permite la degradación de los residuos orgánicos; el vermicompostaje; es un procedimiento similar al compostaje, pero en esta instancia se incorporan lombrices para acelerar la descomposición de la materia orgánica.

El vermicompostaje como una biotecnología viable para el tratamiento de residuos orgánicos generados en la región Centro-Norte, consiste en el proceso en el cual la materia orgánica es transformada en abono orgánico, también llamado “humus” este es producido por la digestión de las lombrices.

Los beneficios que se obtienen del vermicompostaje son el aumento de la fertilización, la recuperación y estabilización de los suelos. Para este tipo de sistemas se utiliza la lombriz roja californiana *(Eisenia foetida)* la cual es más competente para llevar este proceso a cabo, la lombriz roja californiana procesa más cantidad de materia orgánica, alrededor de un 60 % de la ingerida. Un prototipo de vermicompostaje ayuda a disminuir el uso de espacios en sitios de disposición final, al igual que ayuda a reducir la contaminación de los suelos y cuerpos de aguas.

Por lo anterior se propone el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de vermicompostaje, utilizando los residuos orgánicos obtenidos de la ciudad de Misantla, Veracruz. Algunos de los beneficios que se obtendrán son la disminución de espacio en el sitio de disposición final, la reducción de contaminación a cuerpos de agua subterráneas y a suelos por medio de lixiviados, por último, se evitarán los gases generados por la descomposición de los residuos orgánicos. Este prototipo ayudará a obtener "humus", el cual puede ser comercializado o usado en huertos,

jardines y patios propios. El vermicompostaje es una alternativa con muchos beneficios como ya se ha venido mencionando, este tipo de sistemas no genera malos olores y ayuda a degradar la materia orgánica producida en nuestros hogares de una manera fácil y más rápida. Por último, se busca promover la cultura del vermicompostaje en la región centro norte de Veracruz.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Adecuar y evaluar un prototipo como sistema del proceso de vermicompostaje a partir de los residuos generados en la región Centro-Norte de Veracruz.

1.4.2 Específicos

1. Obtener un bosquejo del prototipo mediante el programa de Autodesk Inventor Profesional 2023.
2. Construir el prototipo para el proceso de vermicompostaje.
3. Caracterizar los residuos orgánicos para la relación C:N.
4. Evaluar el proceso de producción de vermicompostaje mediante el uso del prototipo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agricultura sustentable.

Diversos autores mencionan que el concepto de desarrollo sustentable es algo ambiguo, lo cual ha generado como resultado diferentes definiciones. La sustentabilidad de la agricultura hace referencia al aspecto económico, social y al uso del clima, relieve y suelo de acuerdo a su capacidad (Brundtland, 1987 citado por Salgado, 2015) en la Figura 1 se observan los aspectos que engloba la agricultura sustentable.

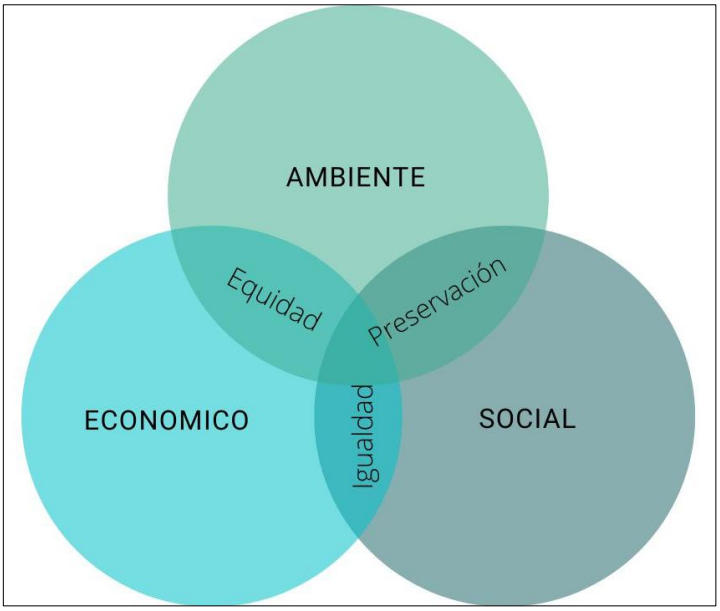


Figura 1. Dimensiones de la agricultura sustentable. Fuente: Elaboración propia.

La (FAO,1992) menciona que la agricultura sustentable es la conservación de los recursos naturales y el manejo de estos mismos, también la orientación para las nuevas innovaciones tecnológicas para asegurarse de satisfacer las necesidades humanas en la actualidad al igual que a las futuras generaciones. Para Osorio et al., 2019, la agricultura sustentable es un sistema que incluye actividades de producción de animales y plantas con la finalidad de satisfacer las necesidades de alimentación del ser humano, aumentar la calidad del ambiente, y utilizar

eficientemente los recursos no renovables, dando como resultado la mejora de la calidad de vida de los agricultores y la sociedad en general.

La agricultura sustentable es la actividad agrícola que tiene como base un sistema de producción eficaz que sea rentable el cual genera un desarrollo en las localidades que la realizan, también es una alternativa para la producción de alimentos en la actualidad y en el futuro debido a que cuida el suelo y le aporta salud al realizar este proceso con la finalidad de conservar los recursos naturales. La agricultura sustentable utiliza técnicas de producción; manejo integrado de plagas y enfermedades, cultivos de cobertera o cultivo de cobertura, labranza de conservación, terrazas, sistemas de retención de agua, sembrado en contorno, rotación e intercalado de cultivos, composta, abonos verdes, barreras vivas e insecticidas vegetales (SADER, 2019).

Altieri (2002), menciona que la agricultura sustentable procura proporcionar resultados sostenidos a largo plazo, con ayuda de las tecnologías y prácticas de manejo, las cuales mejoran la eficiencia biológica del sistema. Este mismo autor menciona que la agricultura sustentable busca una correcta distribución entre los costos y beneficios relacionados con la producción agrícola; tiene como principal objetivo el rescate crítico de las prácticas de manejo que son utilizadas por diversas etnias y cultura, también busca disminuir las desigualdades actuales en el acceso a recursos productivos, por último, la agricultura sustentable busca ser rentable económicamente.

La agricultura sustentable emerge como una alternativa para la producción actual y futura de alimentos, ya que preserva uno de los elementos fundamentales en este proceso, el suelo, a la vez que promueve su salud y fortaleza. Para la agricultura sustentable un aspecto importante es la obtención de mejor producción, ejemplo: la asociación de maíz, frijol, calabaza, también conocida como milpa en México y Colombia, se observan resultados que demuestran una mejor eficacia en el uso de las tierras. (Molina et al., 2016).

La asociación de cultivos (Figura 2) “constituye una alternativa viable para alcanzar una agricultura sustentable. Los principales beneficios están relacionados con mejor uso de los recursos naturales (agua, suelo y energía solar), aumento de producción, incremento de ingresos agropecuarios, mitigación del cambio climático por mayor capacidad de almacenamiento de carbono, manejo ecológico de plagas y enfermedades, mejoramiento del bienestar animal, gestión natural de la fertilidad del suelo y acrecentamiento de la biodiversidad de macro y microorganismos existentes en un agroecosistema” (Tamayo y Alegre, 2022).

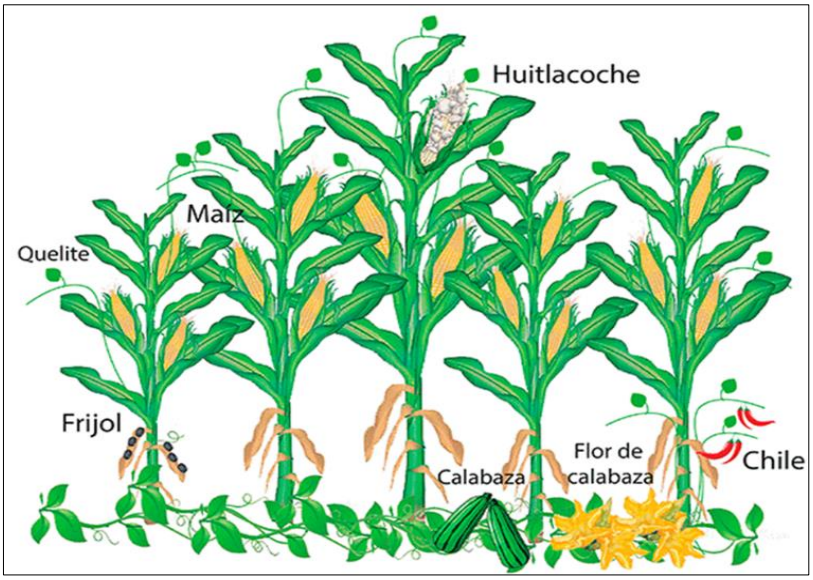


Figura 2. Asociación de cultivos. Fuente: El mexiquense (2020).

2.2 Diferencias entre agricultura sustentable y agricultura tradicional.

Según la FAO (2019) para el año 2050 se estima que haya una población alrededor de los 10 mil millones de personas y para poder alimentar esta cantidad de población, la producción agrícola debe aumentar entre un 14% y un 28%, lo cual con ayuda de la agricultura sustentable y tradicional se puede llegar alcanzar.

La principal característica de la agricultura tradicional es que tiene un alto grado de diversidad en toda Latinoamérica. La agricultura tradicional, son sistemas que

tienen un origen muy lejano a la actualidad, estos han evolucionado culturalmente, biológicamente y representan experiencias vividas por campesinos que han interactuado con los recursos naturales sin acceso a conocimientos científicos ni a un recurso económico. Seguros de sus propios conocimientos y diversas capacidades, incluso experiencias, los campesinos desarrollaron sistemas de producción eficientes (Salgado, 2015). Para la agricultura tradicional se tiene como base el conocimiento que se ha desarrollado de generación en generación, esto se ha logrado con los experimentos que los campesinos mismos han realizado por años. Por otro lado, la agricultura sustentable permite tener bases científicas (Velázquez, 2018).

En la región de Tai Lake (China) la agricultura sustentable aumenta la producción de productos comercializables, como consecuencia se crea un vínculo que relaciona los consumidores, este vínculo está dirigido a solo una dirección, realizan producción a gran escala. Por otro lado, en la agricultura tradicional el principal consumidor de estos productos necesarios para vivir son familias campesinas y este vínculo es bidireccional, estas familias producen sus propios alimentos con métodos que ellos realizan (Wang et al., 1997).

La mayoría de los sistemas tradicionales cumplen las normas de producción que son aplicadas en la agricultura orgánica y no usan agrícolas sintéticos (Sánchez et al., 2015). Un ejemplo de un sistema agrícola tradicional son las camas elevadas, mejor conocidas como *chinampas* (Figura 3), los cuales son humedales productivos que en la época prehispánica lograron abastecer de alientos a la población de Xochimilco en la Ciudad de México (González y Torres, 2014).



Figura 3. *Chinampas* de Xochimilco, Ciudad de México. Fuente: Tecnología Hortícola (2020).

Ebel y colaboradores (2017) mencionan detalladamente varios sistemas en los que los agricultores campesinos de las áreas tropicales siembran especies múltiples de cada cultivo, esto proporciona una gran diversidad intra e inter específica, dando la seguridad de una cosecha de calidad.

Los agricultores andinos de Coporaque, Perú que practican la agricultura tradicional identifican cuatro clases principales de suelo, cada una de ellas tiene características y condiciones específicas para que tengan un sistema de cultivo adecuado (Daza y Torres, 2014).

Se han publicado varios sistemas complejos utilizados por campesinos indígenas para agrupar plantas o animales. Al mantener el patrimonio natural e histórico se ha conservado la agricultura tradicional y los conocimientos que estás resguardan. La transmisión oral de generación en generación ha hecho posible su permanencia hasta la actualidad (Escalante, 2007).

2.3 Impacto al medio ambiente por la agricultura intensiva.

La agricultura intensiva hace uso de los agroquímicos, en la mayor área ocupada por los cultivos, tala de bosques con la finalidad de tener más espacio para los cultivos o para actividades pastorales, lo cual llega a causar el deterioro del suelo y la pérdida de hábitats agrícolas tradicionales; en suma, incremento de las especies

invasoras y contribuye al cambio climático. La agricultura intensiva es la responsable del 80% de la deforestación mundial (Reyes et al., 2022)

Los agroquímicos son considerados como el concentrado de sustancias químicas para la agricultura, como los pesticidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematicidas, u otras variantes de constante crecimiento utilizadas para estimular el crecimiento productivo (Osorio, 2023). Sin embargo, el crecimiento e intensificación de la agricultura intensiva, que estimula ese desarrollo y cambios en la estructura del paisaje, necesariamente induce a la pérdida de hábitat y la degradación de la calidad ambiental (Reyes et al., 2022).

Gran parte de los agricultores en América Latina aún cultivan en sus extensiones de tierra, generalmente en ambientes lejanos, utilizando métodos tradicionales tanto para la siembra como para la cosecha. Algunos agricultores de bajos recursos económicos ven como una opción el uso de los agroquímicos sin tener claro lo que trae como consecuencia (Alteri, 2000). Un estudio realizado en China en el año 2022 muestra que los fertilizantes orgánicos aumentaron un 44, 11% en el rendimiento de hortalizas de invernadero (Xiang, 2022).

Por otro lado, el 63% de los plaguicidas utilizados en la agricultura intensiva tienen toxicidad, considerando los plaguicidas altamente peligrosos (HHP por sus siglas en inglés) para el medio ambiente (Sánchez, 2022).

A nivel mundial, la expansión e intensificación de la agricultura ha llevado a un rápido cambio en la estructura del paisaje, en ellas, el considerable uso de agroquímicos provocó una pérdida directa de hábitat y degradación de la calidad ambiental (Zambrano, 2023). El cambio en el paisaje por la agricultura intensiva y la contaminación por agroquímicos amenaza la biodiversidad. Las principales causas de la pérdida de la biodiversidad es el impacto del cambio climático y la agricultura intensiva (Martínez et al., 2020).

En el caso de la agricultura intensiva de la soya (Glycine max) ha provocado efectos negativos en la biodiversidad del suelo, desplazando otros productos como el arroz,

maíz, girasol y el trigo, causando una disminución de la producción hasta un 24.5% (Reyes et al., 2022).

2.4 Abonos orgánicos.

Es materia orgánica que proporcionan los animales y vegetales, ya sea de manera mezclada o sola, la cual pasa por un proceso de descomposición o en ocasiones pasa por un proceso de fermentación, dependiendo el tipo de abono orgánico que se quiera obtener. Dependiendo la composición y la capacidad de aportación de nutrientes al suelo se define la calidad de abono orgánico. Uno de los objetivos de la elaboración de los abonos orgánicos es disminuir el uso de fertilizantes químicos. También aumentar la fertilidad del suelo, la producción de los cultivos y hacer crecer aún más la biodiversidad del suelo con el fin de que los ecosistemas sean más resistentes al estrés (Liu, 2016).

Los abonos orgánicos ayudan al suelo a mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Álvarez et al.,2018).

2.4.1 Mejoras a las características físicas del suelo.

Los suelos en los sitios de construcción con frecuencia se compactan, lo que da como resultado una mayor densidad aparente (Marco et al., 2012).

La compactación puede ocasionar la limitación del crecimiento de las raíces, conforme aumenta la densidad aparente, se produce una resistencia del suelo en condiciones secas, lo cual ocasiona una aireación inadecuada cuando el suelo se encuentra húmedo (Rucks et al.,2004).

Para tener un suelo funcional la densidad aparente debe ser baja, para mejorar la compactación del suelo una alternativa es la adicción de compost. Se realizaron 18 estudios en los cuales consistió en medir la densidad aparente, los cuales dieron resultados favorables, se demostró que hubo una baja densidad aparente, lo cual permite que haya un mejor aprovechamiento de ese suelo (Gómez et al., 2020).

2.4.1.1 Efectos del compost sobre la densidad aparente.

Los suelos urbanos compactados presentan una infiltración limitada. La infiltración reducida trae como consecuencia estancamiento de agua, mayor erosión y escorrentía y por último un desarrollo lento en las plantas. El uso de compost con

labranza es una alternativa para atender los problemas que presentan los suelos urbanos. En los estudios realizados, la mayoría atribuyeron el aumento de la tasa de infiltración al aumento de la porosidad y la reducción de la densidad aparente del material del suelo con la adición compost. Sin embargo, varios estudios señalan que la tasa de infiltración depende en gran medida de la textura del suelo que se modifica (Flores et al.,2004).

2.4.1.2 Efectos del compost sobre la tasa de infiltración.

Los suelos urbanos compactados presentan una infiltración limitada, la infiltración reducida trae como consecuencia estancamiento de agua, mayor erosión y escorrentía y por último un desarrollo lento en las plantas. El uso de compost con labranza es una alternativa para atender los problemas que presentan los suelos urbanos (Mohammadshirazi et al., 2016).

En los estudios realizados, la mayoría de los autores atribuyeron el aumento de la tasa de infiltración al aumento de la porosidad y la reducción de la densidad aparente del material del suelo con la adición compost. Sin embargo, varios estudios señalan que la tasa de infiltración depende en gran medida de la textura del suelo que se modifica (Pit et al., 1999).

2.4.1.3 Efectos del compost sobre la conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica reducida de los suelos urbanos puede traer como consecuencia el lento restablecimiento de la vegetación, posibilidades de erosión y otros problemas ambientales (Aguirre 2022).

García et al., (2020) en un estudio realizado investigó la conductividad hidráulica saturada en suelos con incorporación de compost, los cuales arrojaron un aumento (33–1100%) en la conductividad hidráulica saturada en comparación con un control compactado. Por último, se observó que hubo una capacidad de retención de agua de los suelos, la cual aumentó debido al alto nivel de la porosidad con la adición de compost.

2.4.1.4 Efectos del compost sobre el contenido de agua.

El compost tiene un nivel alto de capacidad para la retención de agua y con el transcurso del tiempo este mismo puede brindar agua a las plantas. Se realizaron 3

estudios los cuales investigaron los efectos de la incorporación de compost en la retención de agua en el suelo, se obtuvieron resultados favorables, ya que hubo un aumento en la retención de agua de los suelos con compost (Bohórquez,2019).

Se elaboró un análisis con dos tipos de suelos: arcilloso y franco, se registró una mayor retención de agua conforme al aumento de compost, tanto para el suelo arcilloso como para el franco. El suelo arcilloso tendió a tener un mayor contenido de agua más elevado en todas las precisiones de comparación con el suelo franco (García et al., 2020)

2.4.2 Características biológicas.

Los abonos orgánicos ayudan a la aireación y oxigenación del suelo, trayendo como consecuencia la participación de microorganismos aerobios. Los microorganismos participan directamente en el crecimiento de las plantas (Rong et al., 2016).

Al utilizar abonos orgánicos en suelos que han estado expuestos a agroquímicos y a un uso excesivo debido a la agricultura, trae como consecuencia el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Dentro de la producción de este tipo de abonos orgánicos, el compost es un proceso microbiológico en el cual hay una degradación de residuos orgánicos en diferentes niveles de descomposición (Hernández et al., 2010).

Del compost obtenemos un material orgánico con un mayor aporte de nutrientes, la cual afecta de una manera positiva a la calidad del cultivo y el suelo contiene un nivel alto de población microbiana benéfica (Bohórquez,2019).

Se considera que la vermicomposta es benéfica tanto químicamente como biológicamente debido a las actividades que las lombrices y por la dinámica microbiana y bioquímica que se ejercen durante el proceso. Cuando las lombrices se alimentan, estas ingieren una amplia variedad de residuos orgánicos, las cuales incluyen bacterias, hongos, protozoarios y nematodos (Rucks et al.,2004). Los patógenos no sobreviven al proceso, ya que el vermicompostaje contiene enzimas y hormonas que benefician el crecimiento de las plantas y dificulta la proliferación de organismos patógenos (Aguirre, 2022).

2.4.3 Características químicas.

Se basa en la relación carbono-nitrógeno, ya que el exceso de carbono hace que el proceso sea más lento y en el caso del nitrógeno hace que el abono en proceso genere olores desagradables. El pH debe oscilar entre 5.8 a 7.2 y por último tener en cuenta los macronutrientes y micronutrientes (Loza,2017).

Para la elaboración de compostaje, el método más conocido consiste en mezclar las capas del suelo. El material a compostar es volteado manualmente de una a dos veces por semana con la finalidad que la composta llegue a un punto de maduración, esto dependerá del material utilizado, la relación C/N y las condiciones de temperatura y humedad (Mendoza, 2018).

Avalos y María (2021) menciona que la composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y el efecto de los abonos orgánicos en los distintos tipos de suelos cambian según la procidencia de este, la edad y contenido de humedad. Al utilizar abonos orgánicos existe un aumento de macro y micronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) al igual que estabiliza el pH e incremento de la capacidad de intercambio catiónico y degradación de residuos de plaguicidas.

2.5 Composta.

Es el proceso biológico aeróbico de descomposición de materia orgánica, que conlleva condiciones controladas y un proceso de humificación (Figura 4) el cual da como producto final el compost. La producción de materia húmica en ocasiones es acelerada por el compostaje de residuos orgánicos, ya que la humificación natural requiere de más tiempo (Pereira et al.,2014).

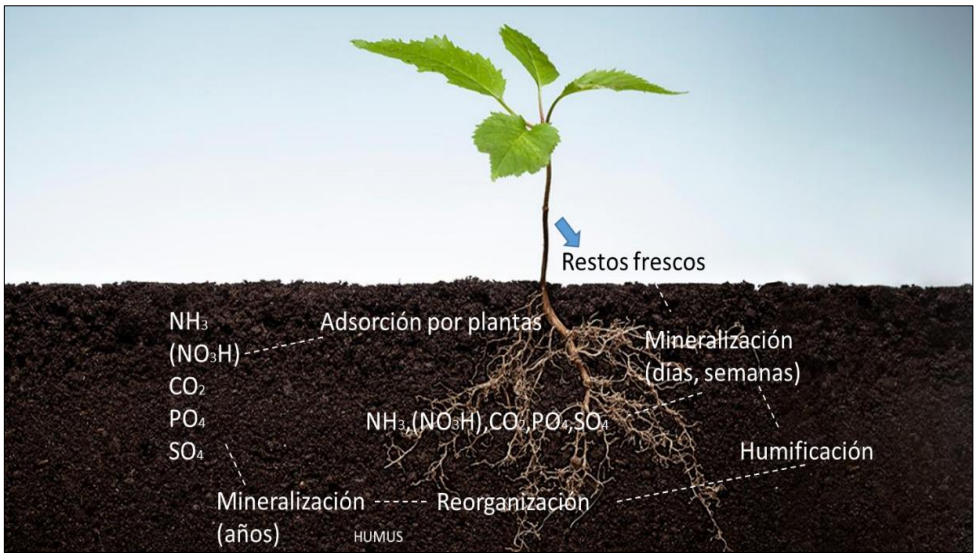


Figura 4. Esquema del proceso de descomposición de los restos orgánicos y la formación de humus en el suelo Fuente: Ibáñez (2022).

El compostaje tiene como principal característica tener una temperatura de 65- 70 °C, esto permite la descomposición correcta (Lett, 2014), acompañada de una fase de estabilización de la temperatura (temperatura ambiente) la cual la velocidad de descomposición es más lenta.

Para Imbeah (1998 citado por Pereira, 2014) el compostaje es un proceso en el cual se reciclan residuos orgánicos (Figura 5), municipales con la finalidad de producir una herramienta capaz de restaurar los nutrientes y aumentar la fertilidad del suelo.



Figura 5. Muestra de vermicomposta Fuente: Agromática (2024).

2.5.1 Ventajas del compostaje.

Según Imbeah (1998 citado en Pereira, 2014) el compostaje es un método amigable con el medioambiente para el tratamiento de residuos orgánicos (desechos) su producto final brinda beneficios los cuales se enlistan a continuación:

1. Se reducen las cantidades de residuos orgánicos que son destinados a sitios de disposición final, evitando el problema de contaminación a suelos.
2. Hay una reincorporación de materia orgánica al suelo, aportando nutrientes y como consecuencia mejorando su calidad.
3. Se destruyen los patógenos.
4. El nitrógeno se convierte en formas orgánicas estables.
5. Se mejoran las características físico-químicas generales de los residuos (Puig et al., 2017).

2.5.2 El compost como estrategia de biorremediación.

El composteo es un proceso biológico donde es posible convertir residuos orgánicos en composta madura (Rojas, 2011). Las estrategias de biorremediación por composteo se basan en la mezcla de los componentes de una composta con el sustrato (suelo) contaminado, de manera que conforme la composta madura, el proceso consiste en la degradación de los contaminantes gracias a la microflora activa dentro de la mezcla (Velasco y Sepúlveda, 2003). En la Tabla 1 se muestran tipos de compost empleados a un contaminante específico.

Tabla 1. Aplicación de compostaje para la biorremediación.

Tipo de compostaje	Contaminante	Tiempo	Eliminación o reducción	Fuente
Compost procedente de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.	Hidrocarburos pesados	1 año	Se redujo significativamente en un rango de 84% a 95 %	Ventorino V. et al., 2019
Abono municipal (hongo de podredumbre blanca: *Pleurotus ostreatus ysauce: Salix planifolia*).	TPHs	Después de la primera temporada de crecimiento	Los tratamientos modificados biológicamente (BAT) que contenían <2 componentes biológicos habían disminuido entre un 69 % y un 73% de la fracción F2 (C) del diésel, que es más que la atenuación natural o el fertilizante (48% y 51 %).	Robichaud K. et al., 2019
Recortes de jardín y cactus.	TPHs	140 días	66%	Escobar A et al., 2018

Fuente: Cruz y Yul, 2022.

A continuación, se enlistan los puntos no favorables de la composta.

Rojas (2011) en-lista una serie de puntos los cuales no son favorables en el proceso de composta como se mencionan a continuación.

1. Se pueden encontrar residuos no compostables debido a una mala clasificación.
2. Espacio para llevar a cabo el compostaje.
3. Competencia con los fertilizantes químicos que se han ocupado por muchos años.

2.5.3 Parámetros que se deben medir en el proceso de compostaje.

Ya que el compostaje es un proceso biológico realizado por microorganismos, es importante monitorear los parámetros que interrumpan su crecimiento y reproducción. Por mencionar algunos factores como lo es: la aireación, la humedad de substrato, temperatura, pH y la relación C:N. Los parámetros ya mencionados deben estar en el rango óptimo. A continuación, en la Tabla 2 se señalan los parámetros y sus rangos óptimos (Román et al., 2013).

Tabla 2. Rango ideal de los parámetros del compostaje.

Parámetros	**Rango ideal al comienzo (2-5 días)**	**Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)**	**Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)**
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	45% - 55%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6.5 – 8.0	6.0-8.5	6.5 – 8.5
Temperatura	45 – 60 °C	45 °C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m³	<700 kg/m³	<700 kg/m³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2.5-3%	1-2%	~1%

Fuente: Román et al., 2013.

2.6 Bocashi.

Proceso de fermentación en condiciones anaeróbicas la cual acelera la degradación de la materia orgánica, este proceso alcanza temperaturas altas para así poder eliminar patógenos. El significado de la palabra Bocashi se origina de una palabra japonesa la cual significa “materia orgánica fermentada”. El proceso de elaboración (Figura 6) consiste en una mezcla uniforme de ingredientes con agregados fermentativos, con un volteo diario y este debe estar cubierto por 15 días aproximadamente (Irías, 2004).

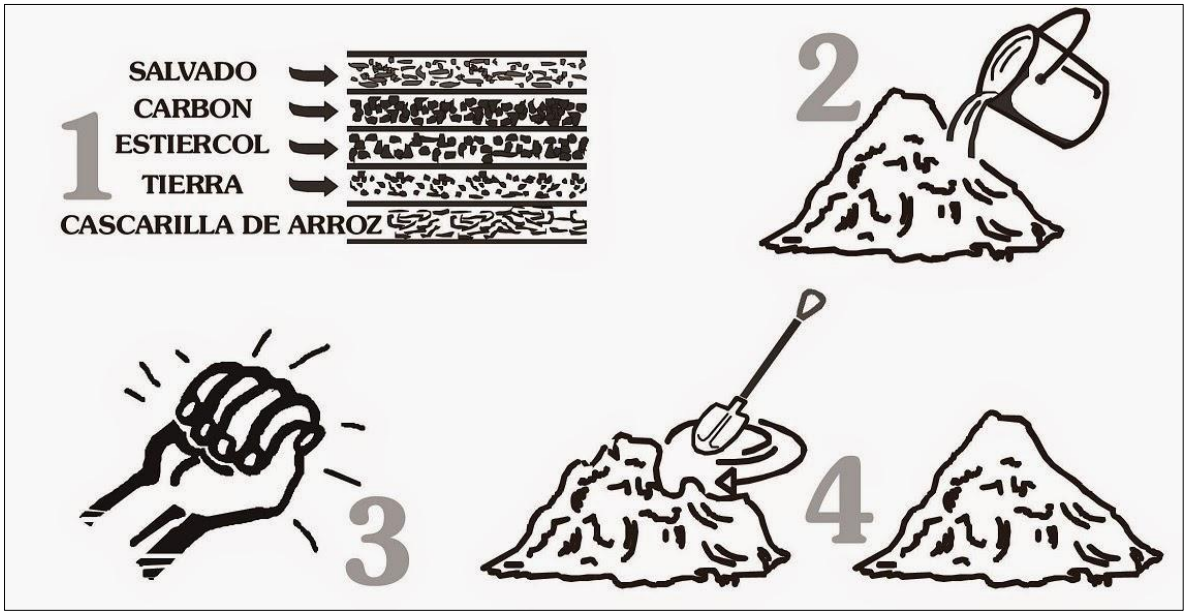


Figura 6. Proceso de la elaboración de Bocashi. Fuente: Regenadores del suelo (2014).

2.6.1 Ventajas del Bocashi.

Reduce la cantidad de desechos de procesos agrícolas y agroindustriales, trayendo como resultado un producto agronómico, el cual ayuda a mejorar la calidad del suelo (Rivera et al., 2010).

2.6.2 Desventajas del Bocashi.

El Bocashi es un abono orgánico que está hecho a partir de residuos como los que se obtienen de las producciones agrícolas de plátanos y bananos, esta puede ser una alternativa la cual recicle los desechos de las fincas y de esta forma ayudar a la sostenibilidad de los agroecosistemas (Tabla 3).

Aparte de usar materia orgánica, requiere de otras sustancias y existe poca demanda de este producto (Cano, 2011).

Tabla 3. Materiales utilizados para la elaboración de abono orgánico Bocashi.

Materiales utilizados	Cantidad
Tierra	113 kg
Aserrín de madera	113 kg
Estiércol de cerdo	115 kg
Desechos de plátanos	590 kg
Carbón vegetal triturado	45 kg
Pulidora de arroz	24 kg
Levadura para pan	0.22 kg
Mezcla de miel de caña	4.00 kg

Fuente: Ramos et al., 2014.

El Bocashi permite complementar la utilización de un fertilizante químico, contienen las medidas necesarias de nutrientes para el buen desarrollo de las plantas y su impacto es prolongado. Evita quemaduras a las plantas, tiene un bajo costo el cual hace posible alcanzar una sustentabilidad a largo plazo (Ramos et al., 2014).

El Bocashi incorpora al suelo materias orgánicas y nutrientes esenciales como lo son los macronutrientes y micronutrientes, los cuales mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo. Este tipo de abonos tienen como finalidad estimular la vida microbiana del suelo y la fertilidad (Liang, 2009).

2.7 Vermicompost o lombricomposta.

Es un proceso eólico en el cual participan lombrices y microorganismos, dando como resultado la degradación de materia orgánica (Figura 7), lo cual también es conocido como compost maduro (Villareal et al., 2021).

Para este proceso se utiliza la especie de lombriz llamada *Eisenia foetida* también conocida como lombriz roja californiana, la cual es originaria de Europa. La lombricomposta o también conocida como humus de lombriz, es un abono orgánico 100% natural el cual se obtiene de un proceso donde los residuos orgánicos introducidos a la lombricomposta son transformados por la lombriz roja (*Eisenia foetida*), este abono obtenido se puede utilizar para los suelos degradados (García et al., 2013).

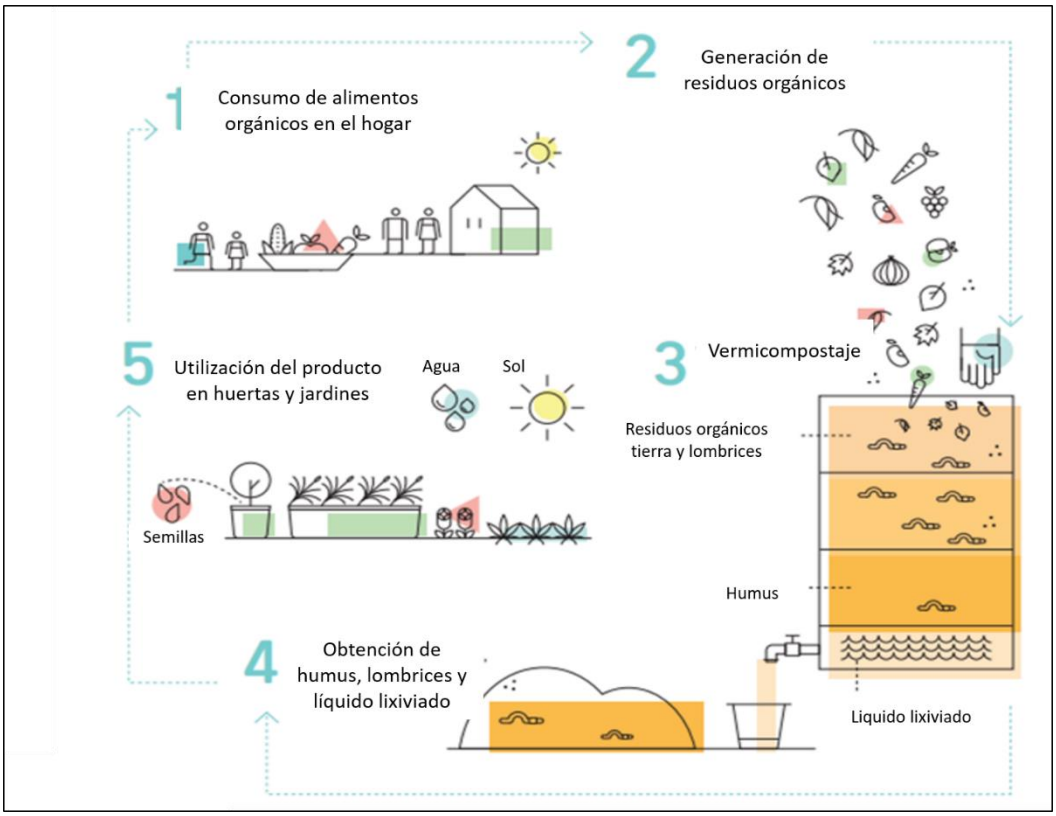


Figura 7. Proceso de la generación de vermicompost. Fuente: Mikolic et al., (2018).

2.7.1 Historia.

Desde los años 884-322 a. de C., se registran las primeras referencias sobre el conocimiento de las lombrices de tierra. Gilbert White en 1777 mencionó la importancia de las lombrices, para hacer referencia a ellas utiliza el término “gusano de tierra” él escribió que son grandes promotores de la vegetación.

En el año 1947 empezó a existir un empleo masivo de las lombrices de tierra, para ese mismo año varios zoológicos de Estados Unidos de América empleaban las lombrices con la finalidad de alimentar los animales (Villegas et al.,2017).

¿En qué lugar comienza la lombricultura?, en el año 1978 la lombricultura extensiva comienza en Italia. En Asia se les ha dado a las lombrices una atención precisa de acuerdo a sus usos. Las lombrices se emplean como harina para la elaboración de diversos platillos, en Japón extraen medicamentos y pueden elaborar medicamentos, en Filipinas se utilizan para alimentar a animales domésticos, camarones, ranas y también se utilizan para el consumo humano.

En Francia, Perú, Brasil, Estados Unidos de América, Italia, España, México, Colombia, y Canadá se emplean también para producir humus (Edwards y Lofty, 1977 citado por Roque et al., 2008)

Este tema del vermicompost empezó a ser más sonado y se realizaron congresos internacionales como los Congresos I y II de Vermicultura (Filipinas). Gracias a este tipo de congreso en Cuba se produce humus, el cual es aplicado en cultivos de tabaco, café y verduras (García et al., 2013).

2.7.2 Beneficios que aporta la vermicompost al suelo.

El vermicompost (material humificado) se utiliza para tratar aguas residuales, remediar suelos contaminados, restablecer la productividad agrícola y cuidar la producción de cultivos. El vermicompostaje presenta ventajas las cuales son: fácil obtención, bajos costos, se adquieren características estructurales, químicas y biológicas, las cuales son responsables para las capacidades de adsorción, así como de degradación de contaminantes (García et al., 2013).

El vermicompost o también conocido como lombricomposta brinda notables beneficios en cuanto a la agregación del suelo, favorece el crecimiento de las plantas y el desarrollo de microorganismos, los cuales ayudan a contrarrestar los fitopatógenos. En el caso de la descontaminación de suelos, el empleo de vermicomposta es muy escaso, principalmente para contaminantes inorgánicos. En el artículo titulado “Una visión general de la aplicabilidad ambiental de vermicompost: desde el tratamiento de aguas residuales hasta el desarrollo de métodos analíticos sensibles” publicado en el año 2014 se menciona que el uso del vermicompost en métodos analíticos sensibles para medir metales tóxicos es la aplicación más nueva para este adsorbente.

Flórez (2020) mencionan que el vermicompostaje contribuye al aumento y conservación de la materia orgánica en el suelo.

1. Recuperación de los nutrientes en los suelos ácidos.
2. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

3. Contribuyen a mantener constante la respuesta del suelo gracias a su elevada capacidad de regulación (buffer).
4. Aumenta las propiedades físicas del suelo: estructura, porosidad, retención de humedad.
5. Disminuye la erosión hídrica y eólica del suelo.
6. Proporcionan fitohormonas que contribuyen al crecimiento y desarrollo de las plantas.
7. Ayuda al crecimiento de los cultivos.

La lombriz roja californiana *(Eisenia foetida)* desarrolla un gran trabajo, por los altos niveles de fósforo encontrados en el abono orgánico, el cual tiene una gran importancia para el ciclo de nutrientes, para favorecer la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola (Espinoza, 2021).

Este tipo de abono orgánico es variado y gracias a su funcionalidad se utiliza como nutriente para beneficiar las cosechas y también se puede emplear para la recuperación de suelos degradados gracias a su capacidad retenedora de humedad y su capacidad remediadora cuando la cantidad de humus del suelo es insuficiente (Villareal et al., 2021).

Trejo (2018) menciona que se han realizado investigaciones que incluyen estudios de tratamientos con vermicompost para suelos sódicos, los cuales dieron como resultado la disminución en la concentración de sodio y aumento en la actividad microbiana del suelo, por mencionar algunas ventajas que aporta este tipo de abono orgánico es la diversidad de la macrofauna del suelo, incremento de la capacidad de infiltración hídrica, aceleración del proceso de mineralización, nutrientes más fáciles de absorber por las plantas y funciona como un buen indicador de la calidad del suelo (García et al., 2013). Por otra parte, se ha demostrado que el vermicompost puede llegar a recuperar suelos salinizados, se obtiene una amortiguación en la sodicidad, reducción del pH y reducción del sodio intercambiable (Pérez et al.,2015).

El vermicompost es un material humificado, el cual presenta varios grupos hidrofílicos, una gran área superficial y una gran porosidad, en la Figura 8 podemos observar su visible potencial adsorbente (Villareal et al., 2021).

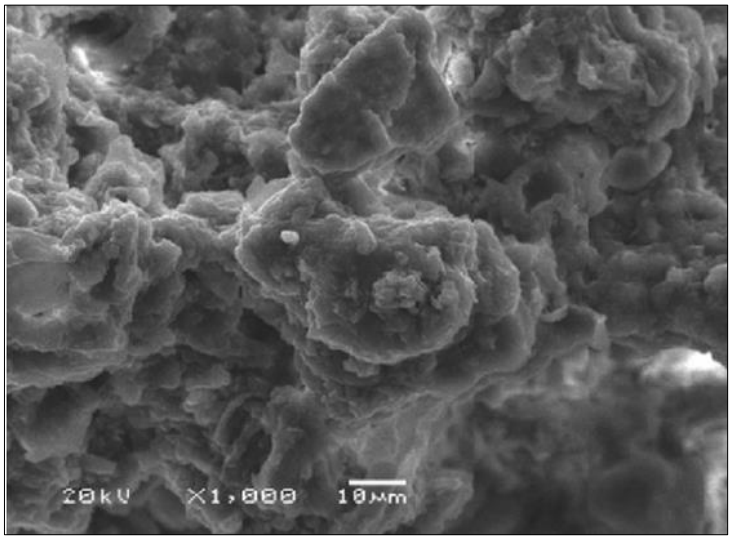


Figura 8. Micrografía electrónica de una muestra de vermicompost a 1000X. Fuente: Segura (2018).

Blanco (2023) menciona que el vermicompostaje es una alternativa para poder producir materiales humificados en periodos de tiempo muy cortos. Los residuos orgánicos son sometidos a actividades bioquímicas, las cuales se llevan a cabo en el interior de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*). Después de concluir esta actividad bioquímica, el vermicompost se excreta y madura continuamente durante un período de hasta seis meses para obtener una estabilización de los residuos orgánicos (Pereira, 2014).

De acuerdo a lo anterior, para poder obtener un proceso adecuado en la producción de vermicompost es necesario medir y controlar los parámetros que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones ambientales para la producción de vermicompost.

Parámetros	Rango ideal
Humedad	70% - 80% esta es la humedad máxima, ya que la lombriz respira por la piel, y una humedad más alta impediría su respiración.
Temperatura	20 % - 30 % °C
pH	5-8, 5. Se debería verificar con una cinta indicadora el pH antes de alimentar la lombriz.
Luz	La lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferirá ambientes oscuros.

Fuente: Román et al., 2013.

2.7.3 Características de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

La lombriz roja californiana *(Eisenia foetida)* la cual se muestra en la Figura 9 está clasificada en el Reino Animal como anélido terrestre, es de color rojo obscuro, su hábitat el ambiente húmedo, respira por medio de su piel, no soporta la luz, este anélido es hermafrodita insuficiente, dotado de 5 corazones y 6 riñones, Mide de 6 a 8 cm de largo y entre 3 y 5 mm de diámetro. Vive en cautiverio sin moverse de su lecho, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida, depositando cada 7 a 10 días una cápsula con un contenido promedio de 10 huevos, vive aproximadamente de 4 a 5 años y puede alcanzar un peso entre 0.8 y 1.4 g (Riascos et al.,2022).

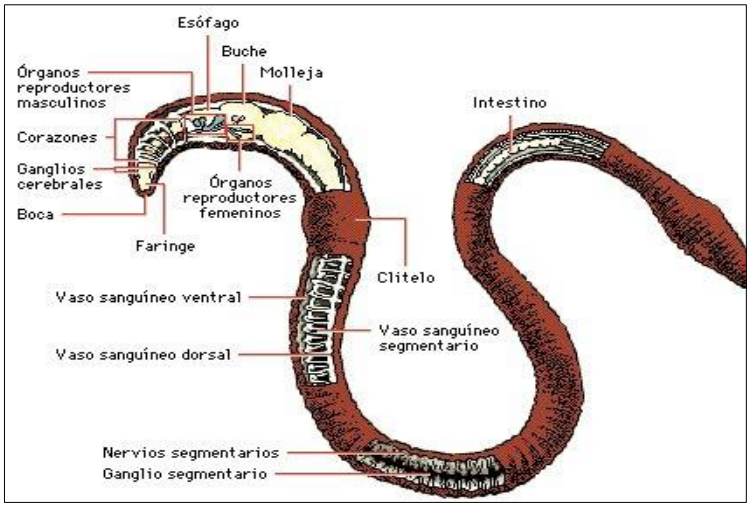


Figura 9. Anatomía interna de la lombriz de tierra. Fuente: Sección Fisiología (2024).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio de investigación.

La realización de este trabajo fue efectuada en el municipio de Misantla, el cual se ubica en las coordenadas geográficas en grados y minutos decimales: longitud: O96°51'6.98", latitud: N19°55'47.71" (Figura 10). La población de Misantla en el año 2020 fue de 65,761 Habitantes (48.7% Hombres y 51.3% Mujeres). El clima de esta ciudad es cálido-húmedo, con un promedio de temperatura de 22.7 °C, cabe mencionar que su precipitación media anual es de 2,036.4 mm.

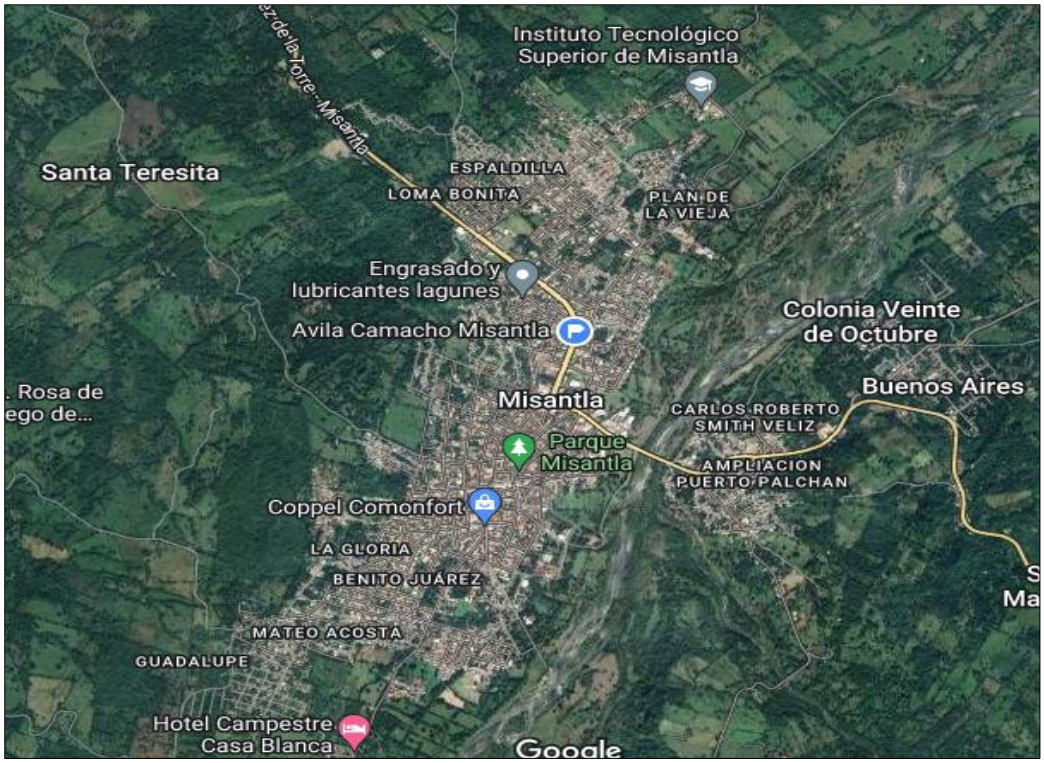


Figura 10. Ubicación del Municipio de Misantla.

En el Laboratorio de Ingeniería Ambiental Aplicada (LIAAp) ubicado en las Instalaciones del Tecnológico Nacional de México campus Misantla (Figura 11) con las coordenadas 19°56´38´´N 96°51´7´´W, con una altura de 380 msnm, donde se llevaron a cabo los estudios necesarios para el monitoreo y evaluación de los parámetros de la calidad de los abonos orgánicos obtenidos.



Figura 11. Ubicación del LIAAp.

3.2 Caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos.

La caracterización de los residuos orgánicos fue llevada a cabo mediante el procedimiento descrito en la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985 “Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo” (Figura 12).



Figura 12. Realización del método de cuarteo de residuos orgánicos.

La cuantificación de los residuos orgánicos se realizó bajo la Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 “Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos”, se realizó el procedimiento correcto para la obtención de la muestra, una vez obtenido los subproductos ya clasificados se prosiguió a pesar en una balanza digital y se registró el peso (Figura 13).

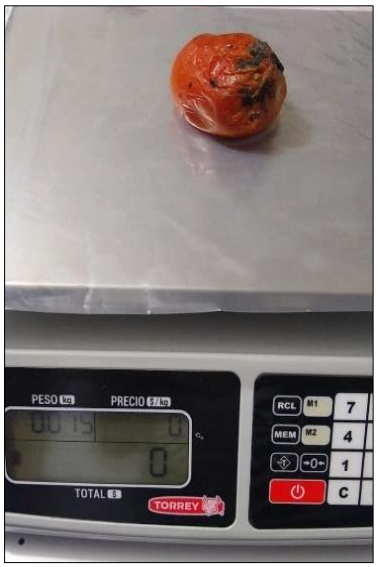


Figura 13. Pesaje del subproducto orgánico en báscula digital.

La finalidad de realizar este procedimiento fue obtener los datos precisos y poder calcular la relación C:N así como saber qué tipo de residuos orgánicos se pueden encontrar en la zona centro de Misantla. Cabe mencionar que ambas normas se adaptaron solamente para los residuos orgánicos.

3.3 Diseño y construcción del prototipo para la producción de abono orgánico.

Se realizó el primer bosquejo en el Software AutoCAD 2018 en el cual se diseñaron tres secciones (Figura 14); la primera sección consta de un sistema de trituración mecánico, el objetivo de este es reducir el tamaño de los residuos orgánicos que se introduzcan. La segunda sección consiste en la mezcla de los residuos orgánicos y las lombrices con el respectivo sustrato y espacio requerido para llevar a cabo el proceso de vermicompostaje. La tercera sección se diseñó con la finalidad de almacenar el abono orgánico o también conocido como “humus de lombriz” este piso cuenta con una llave para recolectar los lixiviados que se pudieran generar. En la Figura 15 se observan los componentes internos diseñados para este prototipo. Se logran observar tres ángulos importantes para una mejor visualización del diseño tanto interna como externamente, al igual que las medidas de este mismo, haciendo posible tener una idea del tamaño real.

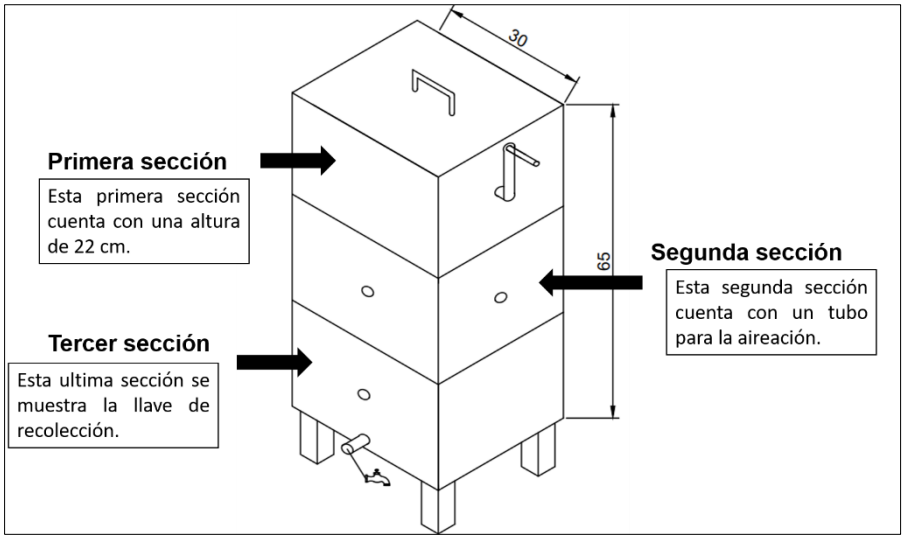


Figura 14. Estructura completa del diseño con las medidas de altura y ancho dadas en centímetros.

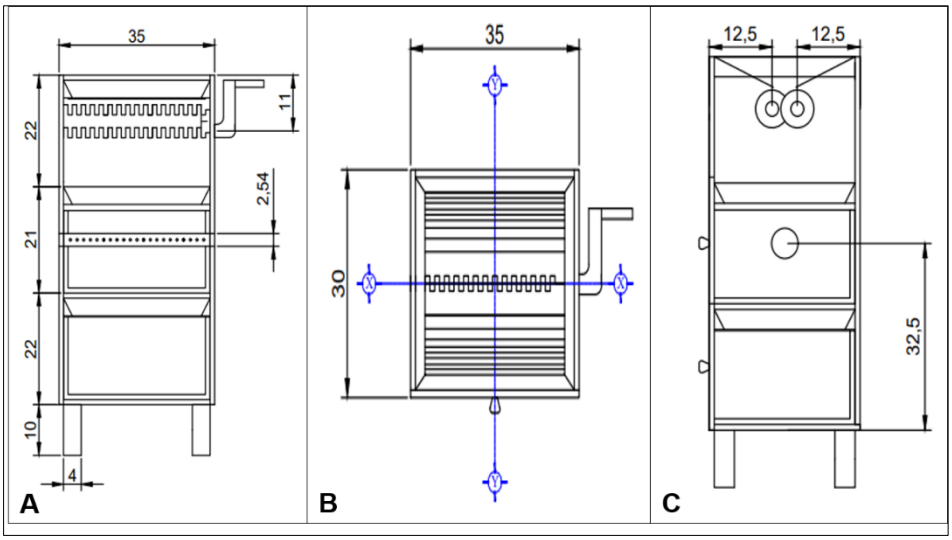


Figura 15. Vistas de diseño en diferentes ángulos. A) Se muestra el corte en "x" B) vista superior C) Se muestra el corte en “y”.

Una vez terminado el diseño, se prosiguió a realizar una investigación de los materiales más adecuados para la construcción de dicho prototipo, los cuales se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Material para la construcción del primer diseño propuesto.

Material	Medidas del material	Cantidad
Madera	65 cm de altura y 35 de ancho	4
Llave de nariz	1/2	1
Malla metálica	0.7 mm y 22.2 mm*11.1 mm	2
Clavos	¾”	8
Tornillos	5 mm / 17 mm	12
Varillas con rosca	5 mm	4
Tubo PVC	1/2”	1
Madera para base	5 cm de altura y 5 cm de ancho	4
Manivela con aspas	35 cm	1
Contenedor de almacenamiento	30 x 30 cm	1

Una vez establecido el diseño y los materiales que se necesitaban para la construcción, se presentaron algunas problemáticas, las cuales dificultaron su construcción Tabla 6.

Tabla 6. Desventajas del diseño antes mencionado.

Desventajas	Descripción
Menor tiempo de vida útil del prototipo.	El material de madera expuesto a humedad constante reduce su durabilidad.
Costo de producción.	El costo de la madera es más alto en comparación con otros materiales como el plástico.
Mayor tiempo de construcción.	La construcción del recipiente se tenía que empezar desde cero.
Dificultad para su movilidad.	De acuerdo al peso de los materiales se dificulta su movilidad.

Por las desventajas mencionadas anteriormente se hizo una nueva propuesta de diseño del prototipo para solucionarlas.

Se realizó un bosquejo con el diseño del prototipo propuesto, en el cual se trazó un sistema de trituración, un área para la trasformación de residuos orgánicos, sistema de aireación, un espacio para la recolección de lixiviado y humus de lombriz, por último, se asignaron los espacios de cada una de las áreas y sistemas mencionados anteriormente para el correcto proceso de vermicompostaje. Para el desarrollo del diseño se utilizó el Software Autodesk Inventor Profesional 2023.
Al utilizar el Software Autodesk Inventor Profesional 2023 el diseño final se visualiza mejor, ya que está realizado en 3D en comparación con el que ya se tenía, otro motivo fue el mejor manejo que se tiene del Software.

El segundo diseño cuenta con una base circular (Figura 16), la cual facilita su construcción, es por ello que se ahorró tiempo, porque solo se adaptaron las piezas y al igual que el primer sistema propuesto este cuenta con las tres secciones en donde se lleva a cabo el proceso de vermicompostaje, se señala con flechas de colores diferentes las tres secciones que contiene el sistema propuesto, las cuales están divididas por mallas metálicas de acero inoxidable (Figura 17).

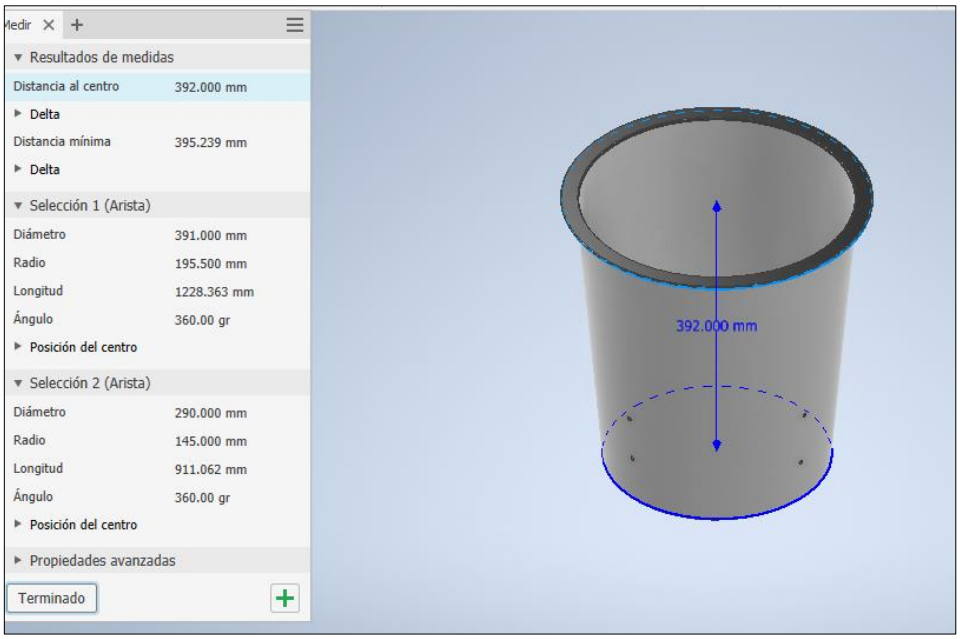


Figura 16. Recipiente utilizado para el sistema propuesto, el cual cuenta con una base circular.

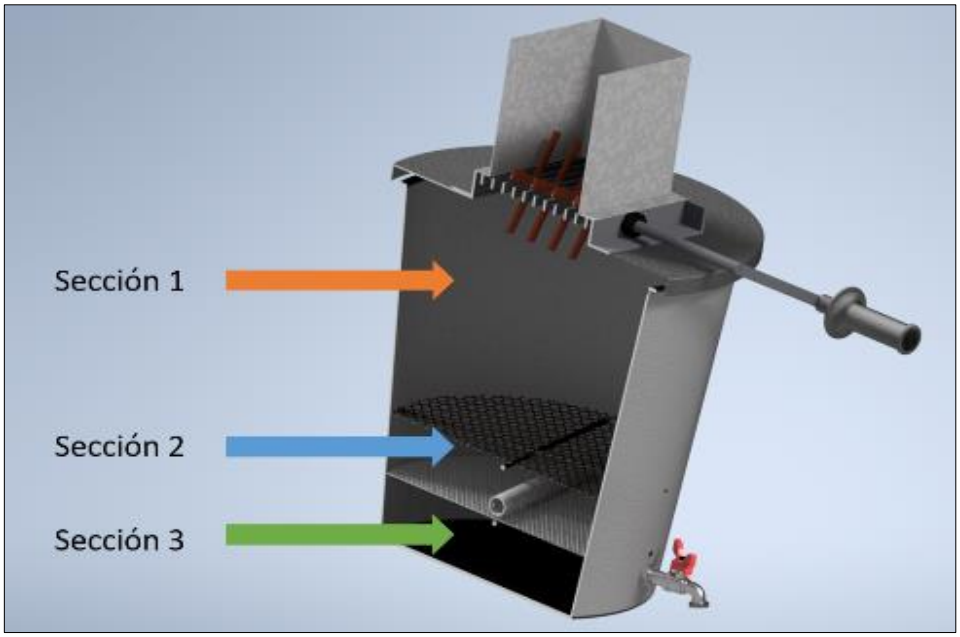


Figura 17. Sistema del vermicompostaje en corte transversal.

En este segundo diseño se agregó un tipo de aspas adaptadas a una manivela (Figura 18) para poder cortar los residuos orgánicos y que estos al ser introducidos al sistema perdieran el tamaño original con ayuda de una rejilla metálica (Figura 19)

lo cual mejora la rapidez de degradación de los residuos orgánicos por medio de las lombrices californianas (*Eisenia foetida*).

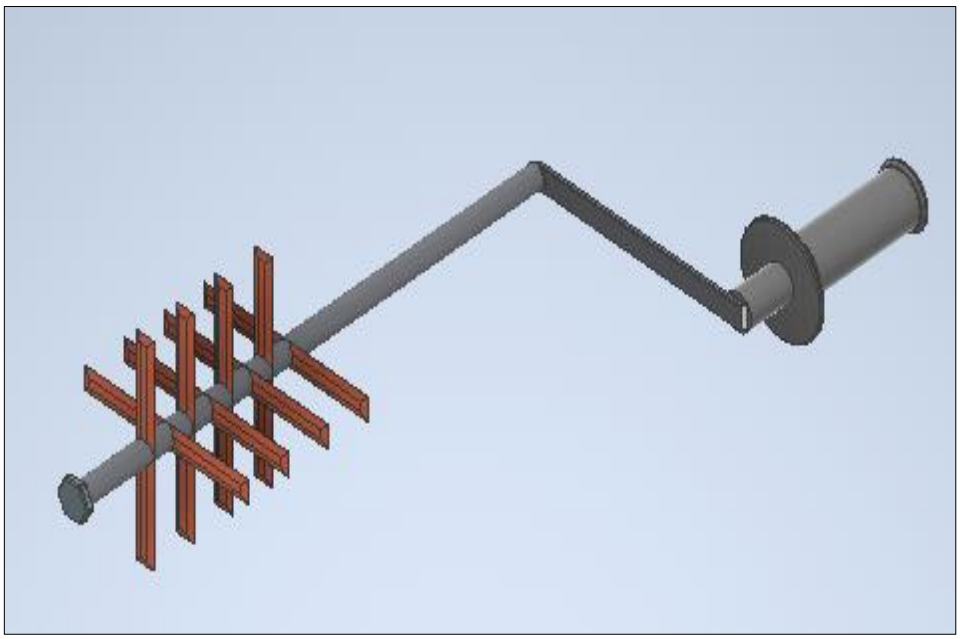


Figura 18. Manivela mecánica para la trituración de los residuos orgánicos.

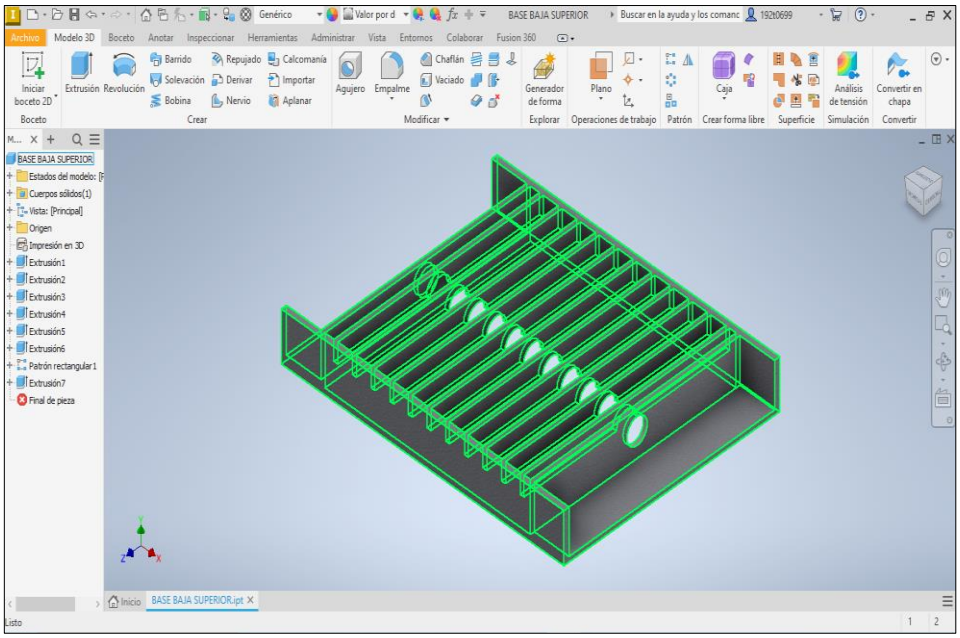


Figura 19. Rejilla metálica para el soporte de la manivela mecánica.

En la Figura 20 se observa el diseño de una figura cúbica, la cual se implementó para que dentro ella ocurra el proceso de reducción de tamaño de los residuos orgánicos introducidos al prototipo.

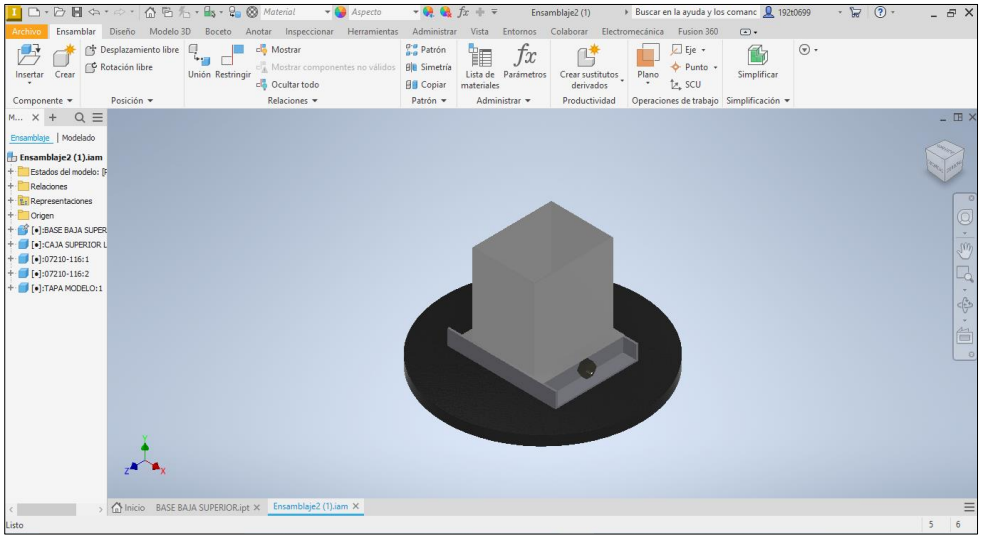


Figura 20. Pieza implementada para el proceso de trituración.

Para una mejor calidad de abono orgánico es indispensable que este cumpla con un diámetro de partícula adecuado, se diseñaron dos mallas para controlar el tamaño de partícula, las cuales tienen diferentes aberturas de orificios (Figura 21).

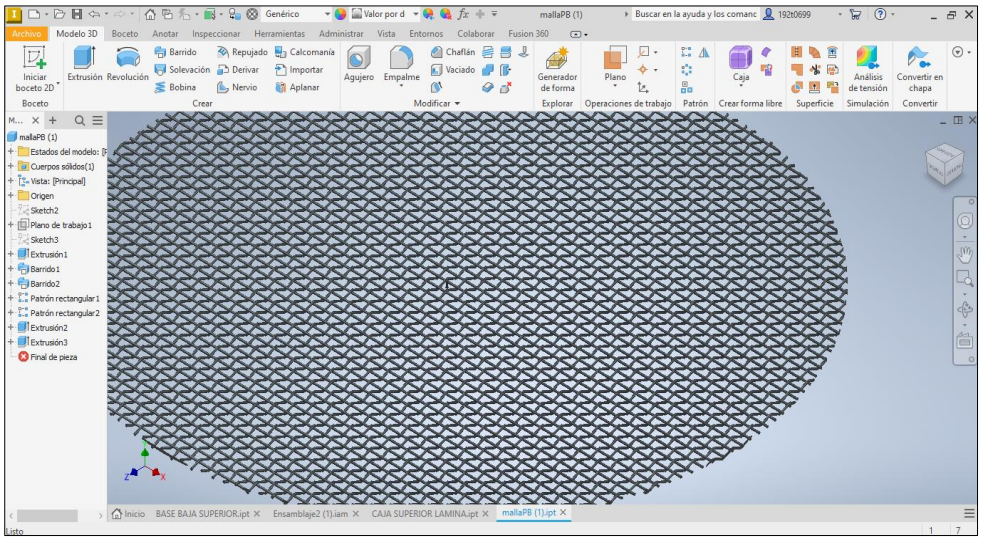


Figura 21. Malla metálica para el tamizado de humus.

3.3.1 Construcción.

Una vez concluido el nuevo diseño, se llevó a cabo la construcción del prototipo. En primer lugar, se recopiló todo el material y las herramientas necesarias.

A continuación, se procedió a tomar las medidas precisas para recortar, unir y ensamblar las piezas correspondientes.

Con la ayuda de un taladro, se realizaron ocho orificios en el recipiente principal para insertar las varillas que brindarían soporte a las dos mallas. Asimismo, se perforó un orificio para la llave de nariz, cuyo propósito es la recolección de lixiviado.

Para la instalación de las aspas y el cajón de trituración, se tomaron las medidas correspondientes para recortar la tapa del recipiente y así poder insertar estas dos piezas. Además, se lijó el área y se pintaron las piezas para mejorar su apariencia estética.

Una vez completadas todas las actividades mencionadas anteriormente, se procedió a fijar todas las piezas para evitar movimientos y garantizar una mayor resistencia. En la Figura 22 se presentan algunos de los pasos llevados a cabo durante la construcción del prototipo.



Figura 22. A) Se muestra como fueron pintadas las piezas de metal B) se observa cómo se realizaron los orificios al recipiente C y D) lijado de las piezas.

3.4 Cálculo de la composición C:N de los residuos orgánicos.

El material a vermicompostar debe cumplir una relación C:N de 25:1 a 35:1 para un adecuado proceso (Román et al., 2013). Para ello se utilizó la tabla 7 que establece los valores determinados del material de interés.

Tabla 7. Relación C:N de materiales usados en la elaboración de vermicompostaje.

Nivel alto de nitrógeno 1:1- 24:1		**C:N equilibrado 25:1-40:1**		**Nivel alto de carbono 41:1 - 1000:1**	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/ caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Román et al., 2013.

Una vez obtenidos los valores de relación C:N de “los restos de cocina” y “hojas de plátano”, fue necesario determinar el porcentaje de humedad de cada uno de estos, caracterizado y cuantificado en el apartado 3.2 (Figura 23).



Figura 23. Caracterización de los residuos orgánicos.

La determinación del porcentaje de humedad fue obtenida mediante gravimetría por el método AS-05 el cual se encuentra en la NOM-021-RECNAT-2000. Este método consiste en la medición de la cantidad de agua expresada en gramos, la determinación del porcentaje de humedad se realiza por la diferencia de peso. Se considera como una muestra seca aquella sometida a secado en un horno análogo a una temperatura de 105 °C.

Para colocar las muestras en las charolas de aluminio, éstas se llevaron previamente a peso constante, se tomó registro y se introdujeron al horno (Figura 24 A) a una temperatura de 105 °C. Transcurrido un lapso de 24 horas se sacaron las muestras y se colocaron en un desecador (Figura 24 B) para después pesarlas en una balanza granataria. Este procedimiento se realizó hasta llegar al peso constante de las muestras.



Figura 24. A) Horno utilizado para determinar el porcentaje de humedad de los residuos orgánicos. B) Desecador utilizado en las pruebas.

La ecuación para calcular el porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\%\ de\ humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \qquad Ec\ (1)$$

En donde:

P_i: Peso inicial

P_f: Peso final

Una vez obtenidos los valores de humedad y la relación C:N de cada material, se determinaron las masas necesarias para poder elaborar las mezclas del sustrato para el proceso de vermicompostaje. Para ello fue utilizado el software en línea de la página de la Universidad de Cornell (http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html), en esta página se realizaron los cálculos de C:N finales (Figura 24). Se colocaron los nombres del material de interés y una vez realizado esto se prosiguió a registrar el porcentaje de humedad, carbono, nitrógeno y peso de cada material.

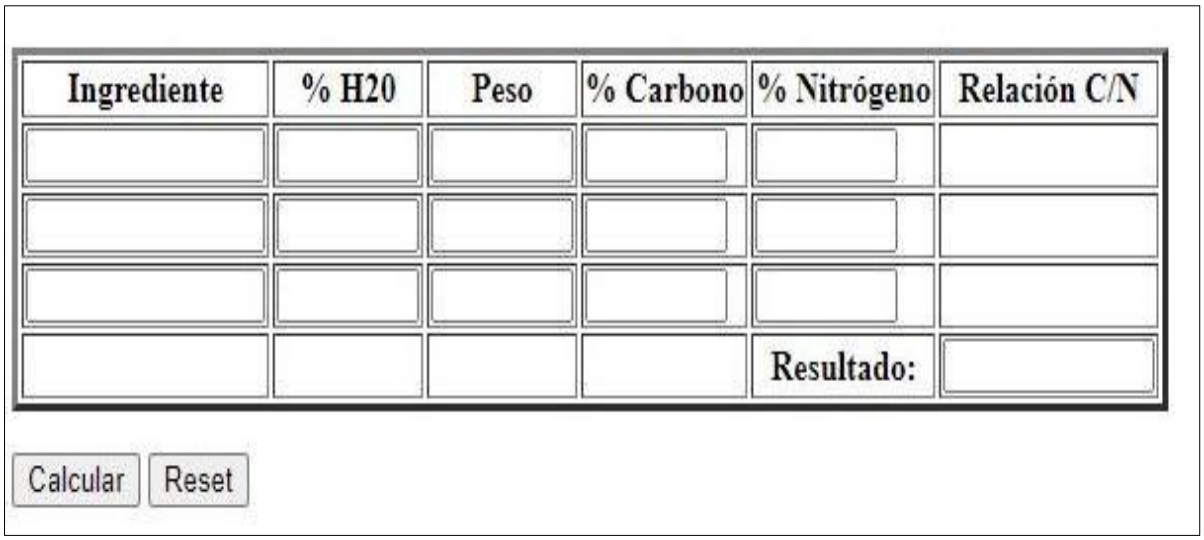


Figura 25. Calculadora de la Universidad de Cornell. Fuente: Universidad de Cornell (1996).

La base fundamental de esta página es el uso de la ecuación 2 para poder elaborar la mezcla del sustrato y así realizar la producción de vermicompost.

$$R = \frac{Q_1 \times (C_1 \times (100 - M_1) + \ Q_2 \times (C_2 \times (100 - M_2) + \ Q_3 \times (C_3 \times (100 - m_3) + \cdots}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - M_1) + \ Q_2 \times (N_2 \times (100 - M_2) + \ Q_3 \times (N_3 \times (100 - m_3) + \cdots} \qquad Ec\ (2)$$

Donde:

Q: Es la cantidad de material a adicionar.

C: Carbono en peso

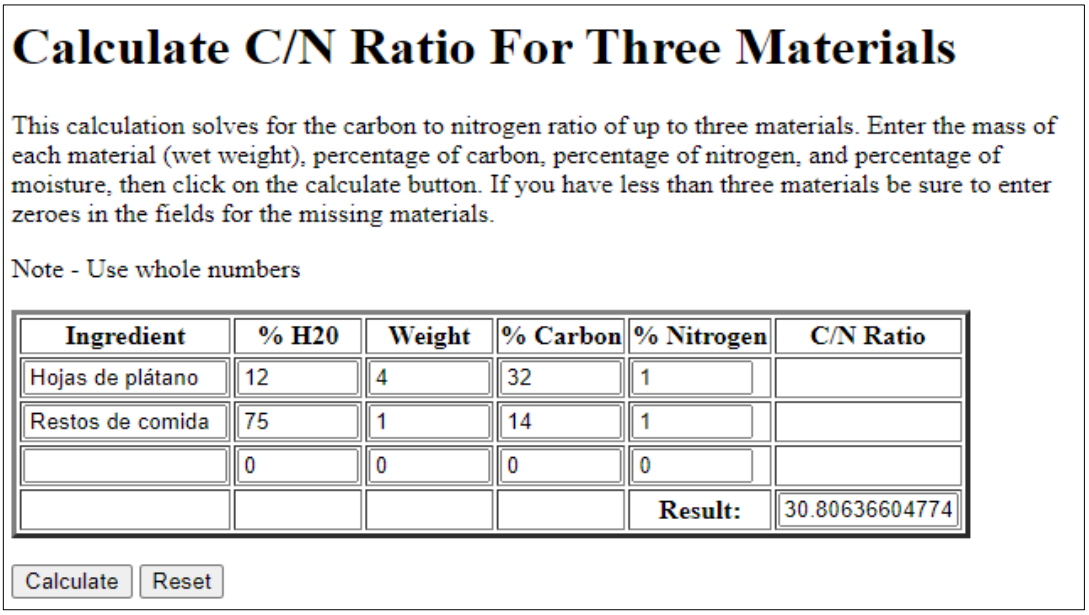
N: Nitrógeno en peso

M: La humedad en peso del material

3.5 Acondicionamiento de las lombrices al sistema.

Siguiendo la metodología de Sánchez (2017) se utilizaron 8.214 gramos en 0.0092 m³, para colocar las lombrices dentro del sistema se verificó la temperatura, pH, y humedad. El agua que se agregaba al prototipo fue en forma de lluvia de manera uniforme y solo cuando la mezcla requería humedad, para comprobar la humedad correcta se tomó un puñado de compost y si de este salían gotas, la humedad era la adecuada (Román, 2013).

Siguiendo con el acondicionamiento fue necesario obtener la relación C:N, en la Figura 26 se muestra el sitio web y el llenado de este dando como resultado una relación de 30:1, la cual se encuentra en el rango óptimo como se describe en el apartado 3.4, la cantidad de materia a compostar en total fue de 5 kilos.



Calculate C/N Ratio For Three Materials

This calculation solves for the carbon to nitrogen ratio of up to three materials. Enter the mass of each material (wet weight), percentage of carbon, percentage of nitrogen, and percentage of moisture, then click on the calculate button. If you have less than three materials be sure to enter zeroes in the fields for the missing materials.

Note - Use whole numbers

Ingredient	% H20	Weight	% Carbon	% Nitrogen	C/N Ratio
Hojas de plátano	12	4	32	1	
Restos de comida	75	1	14	1	
	0	0	0	0	
				Result:	30.80636604774

Calculate Reset

Figura 26. Calculadora online para obtener la relación C/N. Fuente: Universidad de Cornell (1996).

3.6 Monitoreo del proceso de vermicompostaje.

Durante el procedimiento de producción del vermicompostaje fueron monitoreados los siguientes parámetros:

3.6.1 Determinación de porcentaje de humedad.

La medición de humedad en la composta se realizó mediante el método AS-05 descrito en el apartado 3.4. El tamaño de la muestra fue de 40 gramos de vermicomposta en proceso (Figura 27) y fue colocada en una cápsula de porcelana con previo procedimiento para su peso constante de esta misma. Este parámetro se midió cada semana.



Figura 27. Pesaje de muestra de vermicompostaje para determinación de humedad.

3.6.2 Medición de temperatura.

Este parámetro se medió diariamente hasta el final del proceso, de acuerdo al "Manual de compostaje del agricultor". Para la medición de este parámetro se introdujo un termómetro de mercurio a diferentes profundidades entre los rangos de 5 a 10 cm, en especial en donde se encuentran las lombrices y se llevó un registro (Figura 28).



Figura 28. Medición de la temperatura en la vermicomposta.

3.6.3 Medición de pH y conductividad eléctrica.

El método utilizado fue electrométrico, el cual está descrito en la NMX-FF-109-SCFI-2008. El monitoreo de los dos parámetros fue llevado a cabo diariamente, para ello se recolectaron 10 gramos de vermicomposta, se colocaron en un vaso precipitado, después se adicionaron 50 ml de agua destilada, se prosiguió a colocar en un agitador magnético por 20 minutos (Figura 29). Una vez transcurrido los 20 minutos y calibrado el electrodo con las soluciones reguladoras, se introdujo el electrodo en la suspensión (Figura 30 A) y se tomó registro. La marca del equipo utilizado fue HANNA, modelo HI9811-5. Para la medición de la conductividad eléctrica se llevó a cabo el mismo procedimiento, pero en este caso se midió con un conductímetro marca HANNA modelo HI98130 (Figura 30 B).



Figura 29. Muestra previa a la agitación.

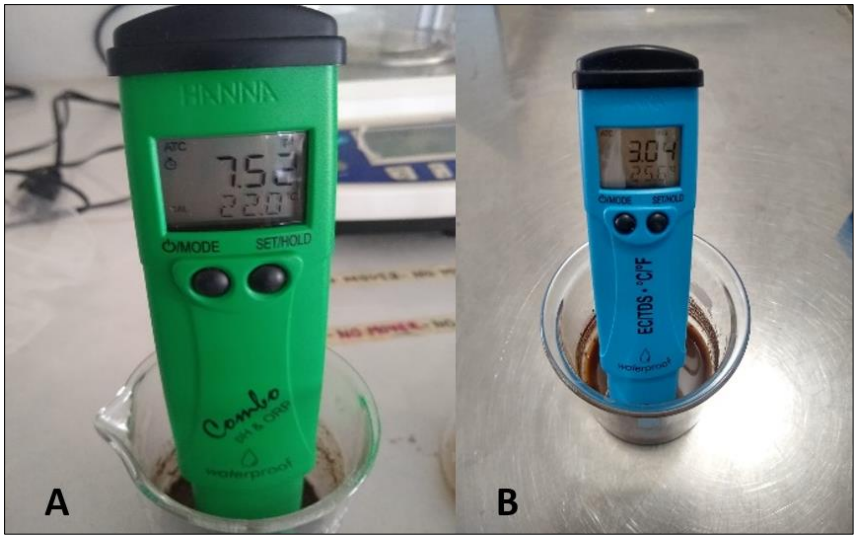


Figura 30. A) Demostración de la medición de pH. B) Medición de la conductividad eléctrica.

3.6.4 Biomasa de las lombrices.

Se monitoreó cada 12 días el peso (g) y longitud (cm) de las lombrices, para ello la elección de lombrices fue por el método aleatorio, el cual consistió en seleccionar 10 lombrices (Figura 31 A) como lo dicta la metodología de Canales et al., (2020). Para la biomasa de las lombrices se utilizó una balanza electrónica analítica de precisión de la marca VELAB y para obtener la longitud (cm) de las lombrices se utilizó una regla de 30 cm (Figura 31 B).

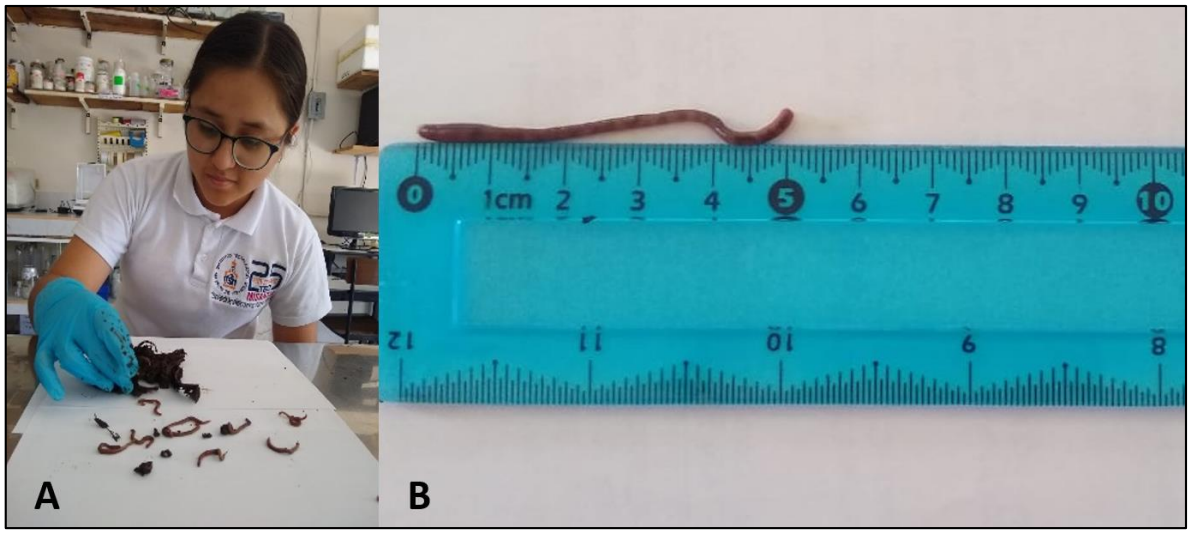


Figura 31. A) Método aleatorio para la selección de lombrices. B) Realización de la medición de lombrices.

Para calcular la biomasa de lombrices se utilizó la ecuación 3.

$$Biomasa\ final\ de\ lombrices = Peso\ final - Peso\ inicial \qquad (Ec\ 3)$$

3.7 Evaluación de la calidad del vermicompostaje.

3.7.1 Análisis del tamaño de partículas del humus de lombriz.

La determinación del tamaño de partícula se realizó con una malla de 5 mm, la muestra fue secada a temperatura ambiente, una vez realizado esto se prosiguió a tamizar y se recolectó el humus de interés para las pruebas finales. Este procedimiento se realizó en el Laboratorio de Ingeniera Ambiental Aplicada y se basó en lo que dicta la NMX-FF-109-SCFI-2008.

3.7.2 Prueba final de la medición de humedad, conductividad eléctrica y pH.

Para determinar la calidad del humus de lombriz obtenido fue necesario realizar las pruebas finales de humedad, C.E. y pH al humus maduro (Figura 32) para ello se realizaron los mismos procedimientos descritos en los apartados 3.6.1 y 3.6.3, sé tomó registro.



Figura 32. Se aprecia la muestra para analizar conductividad eléctrica y pH.

3.7.3 Fitotoxicidad.

Para la realización de la prueba de fitotoxicidad se utilizó la metodología de Varnero et al., (2007), para ello se ocuparon 10 semillas de pepino *(Cucumis sativus),* se

pesaron 10 gramos del sustrato y se disolvieron en 50 ml de agua destilada (relación 1:5). A continuación, se mezcló la solución y colocó papel filtro en las cajas petri, se prosiguió a colocar las semillas sobre el papel filtro (Figura 33 A) y con ayuda de una pipeta se agregaron 5 ml de la solución. Se sellaron con parafilm y se colocaron en una incubadora modelo 9025E a una temperatura constante de 25 °C por 4 días (Figura 33 B).

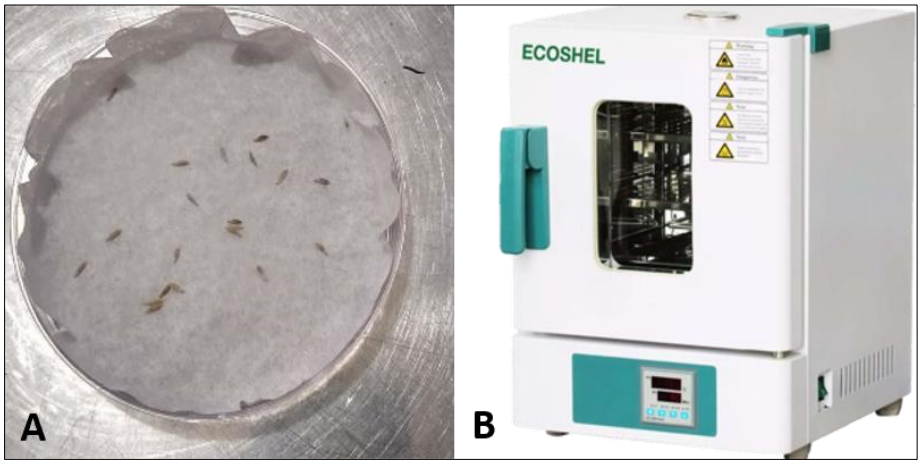


Figura 33. A) Conteo de semillas. B) Incubadora utilizada para el proceso de germinación.

Para poder determinar la fitotoxicidad es necesario llevar a cabo la evaluación del índice de germinación utilizando las ecuaciones 4, 5 y 6.

$$CRR = \frac{elongación\ de\ radiculas\ en\ el\ extracto}{enloganción\ de\ radicula\ en\ el\ testigo} \times 100 \qquad Ec\ 4$$

$$PGR = \frac{n°\ de\ semillas\ germinadas\ en\ el\ extracto}{n°\ de\ semillas\ germinadas\ en\ el\ testigo} \times 100 \qquad Ec\ 5$$

$$IG\ = \frac{PGR \times CRR}{100} \qquad Ec\ 6$$

Donde:

CRR: Crecimiento radicular relativo.

PGR: Porcentaje de germinación relativo.

IG: índice de germinación.

3.7.4 Determinación de carbono orgánico oxidable en suelo (materia orgánica).

Para las soluciones patrones se agregaron 2,5,10,15,20 y 25 ml de la solución de sacarosa con una concentración de 0.08 M (Figura 34 A) a un matraz de 100 ml y posteriormente se aforaron con agua destilada (Figura 34 B).

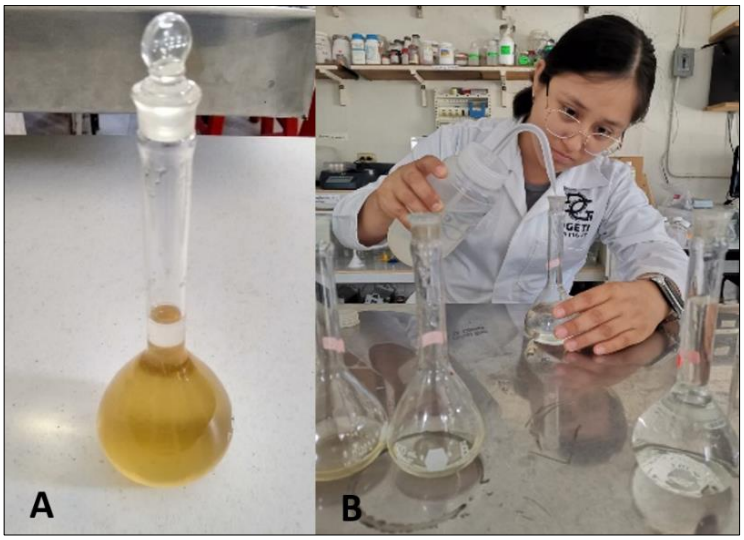


Figura 34. A) Solución de sacarosa. B) Procedimiento de aforo con agua destilada de los patrones.

A continuación, se colocaron 2 ml de cada una de las muestras patrones en vasos de precipitados de 150 ml y se colocaron por 8 horas en el horno a una temperatura de 105 °C (Figura 35).



Figura 35. Muestras patrones en el horno.

Por otro lado, se pesaron 0.5 gramos de humus previamente seco a temperatura ambiente y se colocaron en un vaso de precipitados, este procedimiento se realizó por triplicado.

A los 9 vasos de precipitados (6 vasos de soluciones patrones y 3 vasos de la muestra a analizar) se les adicionaron con ayuda de una pipeta 10 ml de la solución de dicromato de potasio a 0.17 M y 20 ml H_2SO_4 grado analítico (Figura 36 A). Se prosiguió a mezclar por 1 minuto en el agitador magnético. Se dejaron reposar por 12 horas (Figura 36, B).

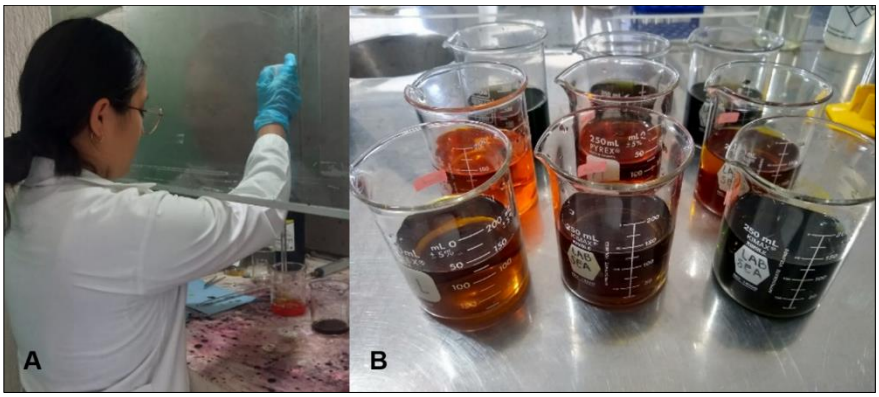


Figura 36. Se muestra el procedimiento para agregar el dicromato de potasio. B) Muestras en reposo por 12 horas.

Transcurridas las 12 horas de las soluciones en reposo, cada una fue analizada mediante un espectrofotómetro de la marca y modelo Velab VE-8000A a una

longitud de onda de 620 nm (Figura 37). Para determinar el porcentaje de carbono oxidable.



Figura 37. Medición de las muestras en el espectrofotómetro.

Para conocer el contenido de carbono orgánico oxidable en las muestras se registraron en porcentaje de la siguiente manera:

$$\%\ CO\ Oxida = \frac{mg\ C}{g\ muestra} * \frac{1}{10} \qquad Ec\ (7)$$

Donde:

$\%\ CO\ Oxida$: Porcentaje de carbono orgánico oxidable.

$mg\ C$: Miligramos del carbono.

$g\ nuestra$: Gramos de la muestra.

Para saber si el humus final obtenido cumple con los parámetros ideales que marca la NMX-AA-180-SCFI-2018 “Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales”, se compararon con los parámetros que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Rangos permisibles de los parámetros a medir en los tipos de composta.

Parámetros	Tipos de composta		
	I	II	III
Humedad (% en peso)	25% - 35%		<35% - 45%
pH	6.7 - 8.5		
Conductividad eléctrica (deciSiemens/metro dS/m)	0.5 dS/m - ≤ 4 dS/m	4 dS/m - ≤8 dS/m	8 dS/m - ≤12 dS/m
Materia orgánica (% MS)	≥ 50 %	30 % - 50 %	20 % - 30 %
Carbono orgánico total	Mínimo 10 % debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado.		
Nitrógeno total (% MS)	3%	2%	1%
Relación C/N	15 - < 20	20 ≤ 25	
Macronutrimentos primarios (Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) en (% MS)	De 1 % a 3 % en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7 %: debe portar la leyenda “Composta - mejorador de suelo orgánico”. Si cualquiera excede 3 % o la suma es mayor a 7 % debe portar la leyenda “Fertilizante orgánico” y se debe indicar las cantidades para cada macronutrimento.		
Granulometría	≤ 10 mm	10 mm ≤ 30 mm	
Fitotoxicidad (Índice de Germinación, IG)	IG > 90 %	IG 85 % a 90 %	IG 80 % a 85 %
Temperatura medida a una profundidad ≥ 50 cm	25 °C – 35 °C		36 °C – 50 °C

Fuente: FAO, 2013.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Prototipo construido y evaluado.

4.1.1 Elección del prototipo.

El prototipo construido consiste en una base circular, la cual tiene el soporte necesario para el peso que este mismo tiene. Este prototipo está construido de un material más duradero (plástico) que el material que se propuso para el prototipo uno, también es más ligero para transportar el sistema si este fuera el caso (López, 2019; Martínez, 2020) al igual que contribuye a obtener una mejor calidad de humus de lombriz. En la Tabla 9 se muestra el precio del prototipo dos, y este es más flexible para llevar a cabo la construcción (Torres et al., 2021). Por último, el tamaño del prototipo construido es más grande que el primero prototipo propuesto, como se muestra en la Tabla 4.3 (López et al., 2022). Mencionadas las características anteriores, se obtuvo como conclusión que el segundo prototipo tiene más ventajas que el primero.

Tabla 9. Tabla comparativa de los prototipos propuestos.

Prototipos	**Prototipo 1**	**Prototipo 2**
Material	Madera	Plástico
Ventajas	● Mayor tamaño	● Materiales reciclados ● Fácil construcción ● Mayor facilidad para su movilidad debido a su peso.
Desventajas	● Menor tiempo de vida útil del prototipo. ● Mayor tiempo de construcción. ● Dificultad para su movilidad.	● Menor tamaño

Tabla 10. Tabla comparativa de los precios de las dos propuestas de prototipos.

Prototipo 1				Prototipo 2			
Materiales	**Medidas**	**Cantidad**	**Costo**	**Materiales**	**Medidas**	**Cantidades**	**Costo**
Madera	65 cm de altura y 35 de ancho	4	$400	Recipiente de plástico con tapa	33.9 cm de altura, 29 cm diámetro interior.	1	$100
Llave de nariz	1/2	1	$25	Llave de nariz	1/2	1	$25
Malla metálica	0.7 mm y 22.2 mm*11.1 mm	2	$80	Malla metálica	0.7 mm y 22.2 mm*11.1 mm	2	$80
Clavos	¾”	8	$10	Rondanas	22.2 mm (7/8”)	8	$4
Varillas con rosca	5 mm	4	$12	Tornillos	5 mm / 17 mm	12	$8
Tubo PVC	1/2”	1	$18	Varillas con rosca	5 mm	4	$12
Madera para base	5 cm de altura y 5 cm de ancho	4	$60	Tuercas	22.2 mm (7/8”)	8	$16
Manivela con aspas	35 cm	1	$350	Tubo PVC	1/2”	1	$18
Tornillos	5 mm / 17 mm	12	$8	Lámina de aluminio	30 cm * 30 cm	1	$150
Contenedor de almacenamiento	30 x 30 cm	1	$30	Manivela con aspas	35 cm	1	$350
Total			$993		Total		$763

Tabla 11. Dimensiones de los dos prototipos propuestos.

Prototipos	**Prototipo 1 base cuadrada**	**Prototipo 2 base circular**
Ancho/radio	0.30 m	0.187 m / 0.1487 m
Altura	0.21 m	0.322 m
Volumen aproximado	0.0220 m^3	0.0285 m^3

4.2 Resultado de la caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos.

Se obtuvo la caracterización de los residuos orgánicos obtenidos de la zona centro de Misantla. En la Tabla 12 se observan los residuos seleccionados y los porcentajes de humedad de cada uno de ellos. El promedio de humedad del conjunto de residuos seleccionados fue usado para el cálculo de relación C:N para el correcto acondicionamiento de las lombrices dentro del sistema (apartado 3.5). Es importante hacer una correcta selección de residuos orgánicos para el vermicompostaje, ya que algunos vegetales y frutas tienen alto contenido de carbono o de nitrógeno, lo que origina un proceso lento si es rico en carbono, por otro lado, si es rico en nitrógeno ocasiona malos olores (Ravindran et al., 2015). Es esencial elegir los residuos orgánicos con alto contenido de nitrógeno debido a que esto contribuye al buen desarrollo de las lombrices en cuanto al peso, tasa de fertilidad y les ayuda a mantener una buena salud (Moreno et al., 2014). Cabe mencionar que los residuos se seleccionados cumplen con el rango óptimo de C:N que el manual de compostaje del agricultor dicta.

Tabla 12. Residuos orgánicos del centro de Misantla.

Residuos	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de Humedad
Piña	35	3.025	91.35
Tomate	90	4.911	94.54
Lechuga	15	0.984	93.44
Cáscara de huevo	5	0.770	84.6
Tortilla	15	11.671	22.19
Mango	25	8.674	65.30
Plátano	45	9.529	78.82
Hoja de plátano	4.5	4.026	12.13

4.3 Resultados de los parámetros monitoreados durante el proceso de vermicompostaje.

4.3.1 Potencial hidrógeno (pH).

Los rangos de pH, los cuales se monitorearon de lunes a viernes durante 3 meses, oscilaron entre los 6.4 – 8.8 por lo que de acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018 están dentro de los rangos establecidos. Durante el proceso, el pH fue el adecuado para que las lombrices sobrevivieran ya que diversos autores (Garg et al., 2013; Meiyan et al., 2013), mencionan que en un pH <5,0 o >9,0 las lombrices pudieron verse afectadas.

Del día 23 al 30 se registraron los valores más altos de pH, los cuales oscilaron de 8.4 a 8.8, mientras que los valores más bajos que se registraron fueron los días 36 al 39, registrándose entre 6.4 y 6.7, estas variaciones obtenidas se pueden atribuir a la formación de amonios y ácidos húmicos por la degradación de los residuos orgánicos (Hanc y Vasak, 2015). Los valores que se obtuvieron de pH en un rango de 6 a 7 puede deberse a la actividad microbiana, lo cual provocó cambios químicos, es por ello que se cree que el pH osciló entre valores ácidos y alcalinos (Acosta et al., 2013). Mencionado lo anterior se concluye que el rango obtenido de 6.4 – 8.8 puede atribuirse a las reacciones químicas que ocurren en el proceso de la degradación de la materia orgánica.

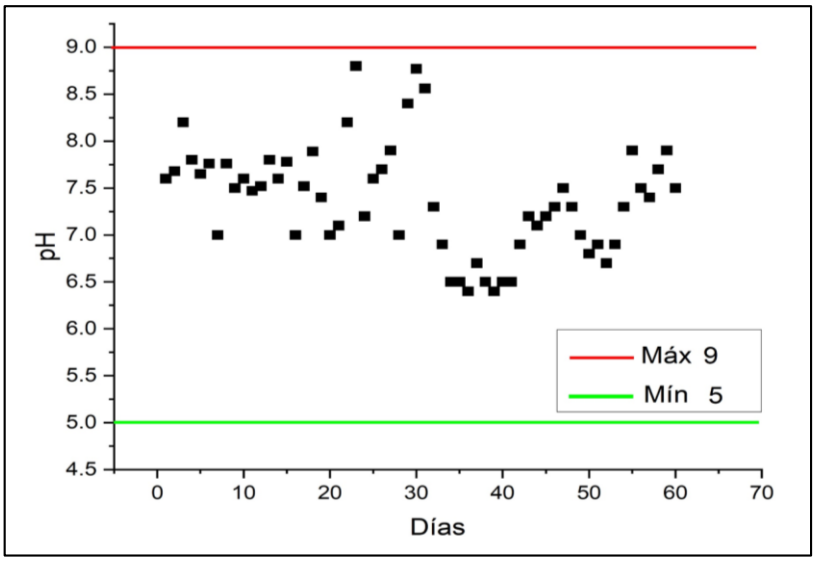


Figura 38. Seguimiento del pH durante los 3 meses del proceso de vermicompostaje.

4.3.2 Monitoreo de C.E. (Conductividad eléctrica).

La conductividad eléctrica se midió por 12 semanas, las mediciones indicaron que este parámetro se encuentra dentro del rango establecido por la NMX-AA-180-SCFI-2018. La C.E. se reporta en decisiemens por metro (dS m^{-1}), en la Figura 39 podemos observar el rango mínimo y máximo de este parámetro los cuales fueron 0.66 dS m^{-1} y 3.5 dS m^{-1} respectivamente. Ttito, (2017) menciona que una C.E. de 0.47 dS/m indica una concentración baja de electrolitos, por lo tanto, podemos concluir que los valores que se obtuvieron durante el monitoreo son aceptables e indican que tiene una adecuada C.E.

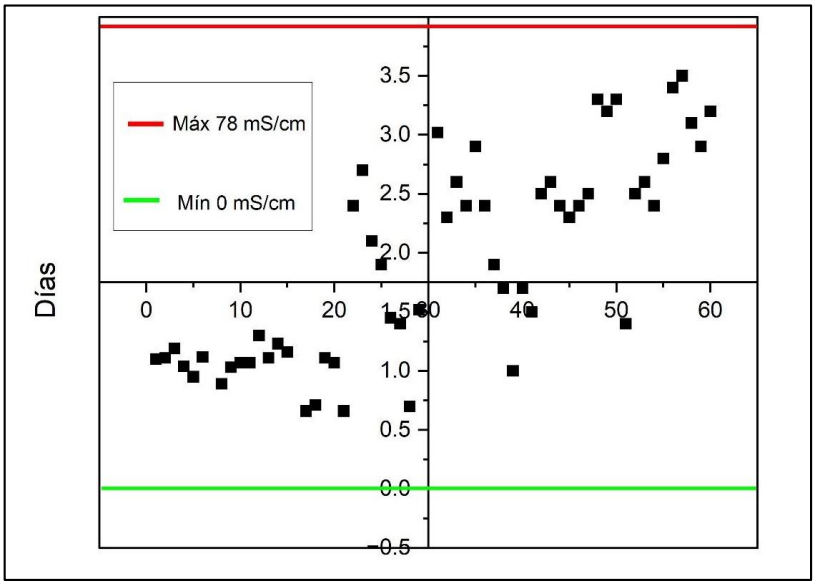


Figura 39. Resultado de la C.E. en 12 semanas de monitoreo.

4.3.3 Monitoreo de temperatura.

Se muestra en la Figura 40 que en los primeros 20 días del proceso de vermicompostaje la temperatura se mantuvo en un rango de 20 °C a 22 °C, a partir de ahí la temperatura fue más variable teniendo como máxima 29 °C, sin embargo, los rangos obtenidos cumplen con lo establecido en la NMX-AA-180-SCFI-2018. La vermicompost muestra una temperatura constante de entre 20 °C y 29 °C, por lo que menciona Calderón (2019) el proceso de vermicompost se humificará en condiciones de 20 °C y el tiempo que tarda en realizarse este proceso es de tres meses. Mencionado lo anterior podemos concluir que la temperatura que se obtuvo es la adecuada para que se lleve un correcto proceso de vermicompostaje. También

cabe destacar que autores como Durán y otros (2013) mencionan que en una temperatura menor a 19 °C y mayor a 30 °C la lombriz tiene una menor producción de humus, por lo tanto, podemos decir que se ha obtenido una producción buena.

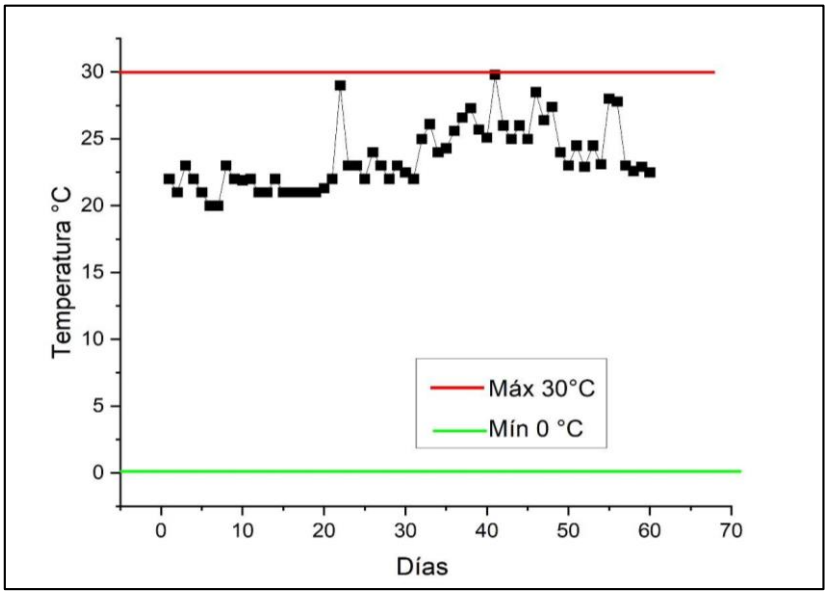


Figura 40. Medición de temperatura °C.

4.3.4 Monitoreo de humedad.

Durante el periodo de muestreo se realizaron 5 tomas para ser analizadas, dos de ellas se encuentran en el rango establecido por la NMX-AA-180-SCFI-2018 y tres están fuera de dicho rango (Figura 41). Para Mendoza y otros autores, (2018) la humedad debajo del 70% se considera como una condición desfavorable, también menciona que las lombrices pueden morir si se encuentran en un porcentaje menor de humedad del 55%.

La humedad que se obtuvo no fue favorable debido a que en el proceso la humedad no se encuentra en los rangos establecidos que son de entre 60% y 90% de humedad, siendo el 70% al 80% el rango ideal para el porcentaje de humedad en el proceso de vermicompostaje, ya que solo dos de los resultados se encontraron entre el 60% y 70%. Pérez y López, (2022) mencionan que del 60% - 70% de humedad el tiempo de descomposición de los residuos orgánicos es menor y trae como consecuencia el óptimo desarrollo de las lombrices y su crecimiento.

Podemos concluir que la humedad es un factor importante para la degradación de la materia orgánica, el crecimiento y desarrollo adecuado de las lombrices, también que solo 2 de las 5 muestras analizadas cumplen con lo requerido por la NMX-AA-180-SCFI-2018.

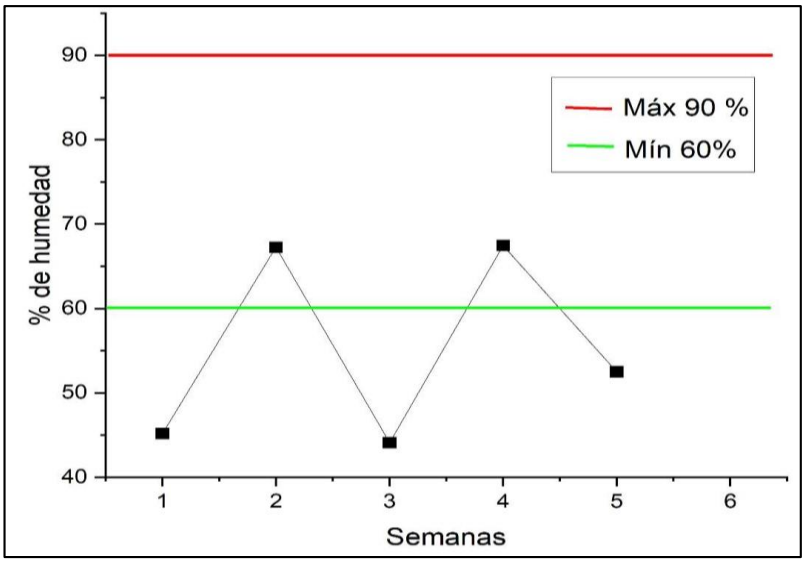


Figura 41. Medición de % de humedad.

4.4 Monitoreo de biomasa.

Se realizó la medición de la longitud de las lombrices y sus pesos, se mostró que no existe una correlación lineal entre estas dos características (Figura 42 y 43). El tipo de residuos orgánicos que consumen las lombrices desempeña un papel importante en su crecimiento y desarrollo, lo que a su vez incide en el aumento de la biomasa y en un comportamiento más activo (Sánchez, 2017). No necesariamente existe una relación lineal entre la masa y la longitud de las lombrices. La relación entre estas dos variables puede depender de la edad de cada lombriz, estado de salud, tipo de residuos orgánicos con los cuales se alimentan, entre otros (Gómez, 2014).

Para obtener una correlación lineal se debe cuidar que el grupo de lombriz tenga las mismas características, sin embargo, es posible que no se encuentre una correlación lineal y pueda obtenerse una variación significativa por causa de los

factores anteriormente mencionados (García, 2023). La producción de cocones, longitud y biomasa de las lombrices puede también verse afectada por la temperatura (Canales, 2020). Podemos concluir que no se encontró una correlación lineal en el estudio realizado, ya que no se cuidó que el grupo estudiado de lombrices cumplieran con las mismas características como lo son, su edad, salud y dieta, al igual que una temperatura.

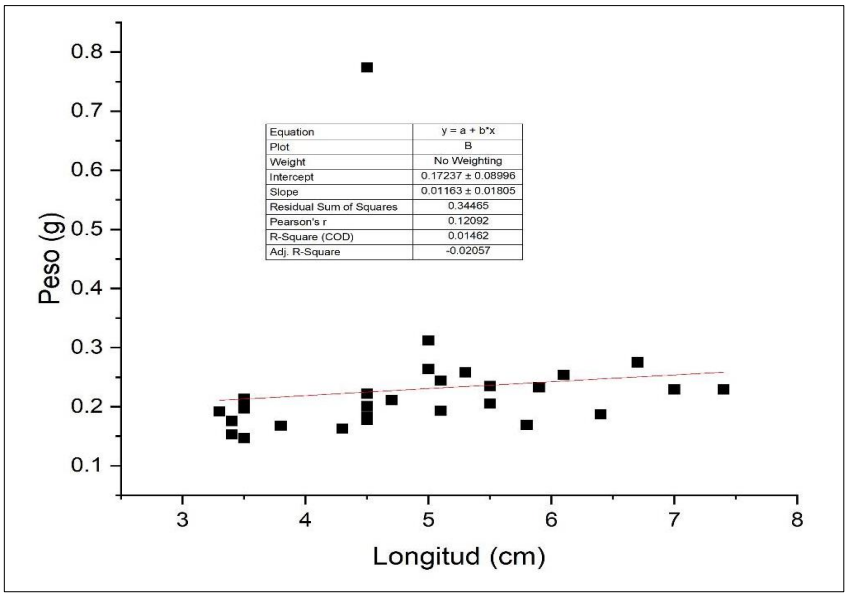


Figura 42. Correlación lineal entre el peso y la longitud de lombrices *Eisenia foetida.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Regresión	1	0.005	0.005	0.415	0.524
Residual	28	0.345	0.012		
Total	29	0.350			

Coeficientes	Estimado	LI	LS	tc	Sig
b0	0.172	- 0.012	0.357	1.916	0.066
b1	0.012	- 0.025	0.049	0.645	0.524

Figura 43. Datos obtenidos de la correlación lineal realizada.

4.5 Análisis de fitotoxicidad.

Se obtuvo un % de índice de germinación bajo, el más alto fue del 50% de las 3 repeticiones que se realizaron (Tabla 13). Para asegurarse de obtener un vermicompostaje maduro la temperatura de este no se eleva cuando se realiza el volteo de la vermicomposta, un vermicompostaje se humificará en condiciones de 20 °C y a una humedad de 40% con una correcta aireación y resguardado del sol directo, este proceso dura alrededor de tres meses (Calderón, 2019). En el compost la etapa de madurez desciende hasta los 17 °C y se mantiene constante, lo cual indica que el tiempo de maduración del compost llegó a su fin, gracias a esto se evita la presencia de vectores y malos olores (Urriola et al.,2021).

Debido a que la humedad y la temperatura están relacionadas con la maduración del vermicompostaje los índices de germinación fueron bajos, ya que los resultados de humedad no son aceptables en el proceso de vermicomposta, se le atribuye la falta de % de índice de germinación al vermicompost aún en proceso de maduración.

Tabla 13. Porcentaje de índice de germinación

No. De Muestras	Semillas sembradas	Semillas germinadas	IG (Índice de germinación)
Caja 1	10	5	50%
Caja 2	10	5	50%
Caja 3	10	2	25%
Caja T	10	8	100%

4.6 Resultados finales de los parámetros analizados.

Realizando una comparación con los datos finales obtenidos del estudio y con los que establece la NMX-AA-180-SCFI-2018, se obtuvo la Tabla 14, la cual muestra de manera clara si se cumple o no con la norma mexicana mencionada anteriormente.

Tabla 14. Datos obtenidos del estudio realizado de vermicompostaje.

Parámetros	Resultados obtenidos	Rango que estable la NMX-AA-180-SCFI-2018

Humedad (% en peso)	52.5%	25% - 45%
pH	7.17	6.7 – 8.5
Conductividad eléctrica (dS/M)	3.2	0.5 dS/m - ≤12 dS/m
Materia orgánica (%MS)	12%	20% - ≥50 %
Carbono orgánico total	6.11%	Mínimo 10%
Nitrógeno total (%MS)	2.6%	1% - 3%
Relación C/N	2.35 %	15 - ≤ 25
Macronutrientes primarios (N, P, K,) en % MS	5.6%	1% - 7%
Granulometría	<5 mm	≤10 mm - ≤30 mm
Fitotoxicidad (Índice de germinación)	41.66 %	80% – 90%
Temperatura	25.5 °C	25 °C – 50 °C

Se obtuvo que los parámetros que sí cumplen con lo establecido por la NMX-AA-180-SCFI-2018 son: pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, macronutrientes, granulometría, temperatura, que son 6 parámetros de los 11 que menciona dicha norma.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- Se diseñaron dos prototipos, solo uno fue construido y evaluado para la generación de abonos orgánicos, la cual es una estrategia viable para promover la agricultura sustentable y reducir los impactos negativos de la agricultura intensiva.
- La caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos domésticos permitió determinar la composición de C:N adecuados para el proceso de vermicompostaje, esto permitió que el prototipo construido y evaluado demostrara ser eficiente en la descomposición de los residuos y en la producción de vermicomposta.
- Los parámetros monitoreados durante el proceso como el pH, C.E. y la temperatura se mantuvieron dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de las lombrices. Por otro lado, en el monitoreo de la humedad se comprobó que hubo valores fuera de los rangos óptimos, a lo cual se puede atribuir que la materia orgánica, carbono orgánico total, la relación C:N y la fitotoxicidad no se cumplieran satisfactoriamente según lo establece la NMX-AA-180-SCFI-2018.
- En la biomasa de lombrices no se encontró una correlación entre el peso y la longitud de la lombriz debido a que no se pudieron monitorear satisfactoriamente variables como la edad de la lombriz, estado de salud y tipo de residuos orgánicos para la alimentación.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA

Acosta-Durán, C. M., Solís-Pérez, O., Villegas-Torres, O. G., y Cardoso-Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de Einsenia foetida. Agronomía costarricense, 37(1), 127-139.

Agromática (2024). Compostaje Vs Vermicompostaje. Recuperado de: https://www.agromatica.es/compostaje-vs-vermicompostaje/

Aguirre Forero, SE, Piraneque Gambasica, NV, y Mercado Fernández, T. (2022). Soil and climate change: Includes case studies. Unimagdalena.

Altieri Soto, M. A., y Nicholls, C. I. (2000). Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe del PNUMA.

Altieri, M. A. (2002). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable, 27-34.

Alvarez -Palomino, L., Vargas-Bayona, JE, y García-Díaz, LK (2018). Organic fertilizer: use of agroindustrial organic waste. Spei Domus, 14 (28-29), 1-10.

Avalos de la Cruz y Maria Amanda (2021). Evaluation of soil quality and its response to the incorporation of organic fertilizers and bioinoculants as bioremediators (Tesis Doctoral). Universidad Juárez, Estado de Durango.

Blanco Villacorta, M. W. (2023). El vermicompostaje una alternativa para potenciar la agricultura urbana. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, *10*(1), 90-103.

Bohórquez Santana, W. (2019). The composting process (Vol. 1). De La Salle University.

Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista de Ciencias agrícolas, 33(2), 117-124.

Calderón, G. R. (2019). Vermicompost una en el Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos, en Zonas Altoandinas, Tarma – Junin 2019. Energía de biomasa y sus aplicaciones, 18-22.

Camiletti Morales, J. (2016). Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza. (Tesis de licenciatura). RediUMH, Univerdidad de Orihuela.

Canales Gutiérrez, A., Solís Ramos, B. J., Panca Castañeda, R. J., y Quispe Cáceres, B. L. (2020). Crianza de Eisenia foetida (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. Ecología Aplicada, 19(2), 87-92.

Carrasco Escobar José Paúl y Rodríguez Silva José Luis Ángel. (2015) Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos. Recuperado de https://rde.inegi.org.mx/index.php/2015/01/09/analisis-de-estadisticas-del-inegi-sobre-residuos-solidos-urbanos/

Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT). (2018). NMX-AA-180-SCFI-2018: Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. COTEMARNAT.

Coordinación universitaria para la sustentabilidad, UV. (2024). La basura que día a día generamos* – Dirección de Comunicación de la Ciencia. UV. Www.uv.mx. Recuperado de https://www.uv.mx/cienciauv/blog/labasuraquediaadiageneramos/

Cornell University. (1996). Waste Management Institute. Dept of Crop and Soil Sciences. Bradfield, Cornell University Calculate the carbon to nitrogen ratio - Cornell composting. Cornell.edu. Recuperado de http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html

Cruz Hermoza y Yul Alfonso. (2022). Estrategias de biorremediación basadas en compostaje y vermicompostaje en suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos: Revisión sistemática. (Tesis de Licenciatura) Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Daza, L. M., y Torres, D. C. (2014). Economía y organización social en las comunidades campesinas de arequipa. Revista Peruana de Antropología, 1(2).

Durán, C. M., Pérez, O. S., Torres, O. G., y Vigueros, L. C. (2013). Precomposteo de Residuos Orgánicos y su Efecto en la Dinámica Poblacional de Einsenia Foetida. Agronomía Costarricense, 1(37), 127-139.

Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., y Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. Terra Latinoamericana, 35(2), 149-160.

El Mexiquense. (2020). ¿Qué tienen en común el maíz, frijol y calabaza? Recuperado de https://barbacoamx.com/2016/08/05/tienen-comun-maiz-frijol-calabaza/

Escalante, L. N. (2007). La importancia de incluir perspectivas culturales y sociales en los procesos de desarrollo rural, como premisas para revalorar el saber tradicional. Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible, 3(2), 343-364.

Espinoza Orozco, C. L. (2021). Efecto del silicio y vermicompost en el crecimiento, producción de biomasa y contenido de nutrimentos en plantas de Moringa oleifera Lam (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.

FAO, UCE (1992). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.

FAO. (2019). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma.

Flores, A., Izquierdo, M., y Manzanares, P. (2004). Effects of the combination of organic fertilizers and chemical fertilizer on the apparent density and total pore space of a Nicaraguan volcanic soil. La Calera, 4 (4), 18-22.

Flórez Muriel, E. (2020). El vermicompost, una alternativa para la recuperación de suelos. Universidad Militar Nueva Granana UMNG Bogotá D.C., Colombia, 5-25.

García -Tomillo, A., Lado, M., Vidal Vázquez, E., y Paz González, A. (2020). X Conference on Soil Use and Management, Soil and Water Resources Sustainable Management. AQUATERRA: Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos y del Suelo Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA) y Facultad de Ciencias de la Universidad de A Coruña

García, M., Espinosa, M. G. N., López, C. N. V., y López, J. V. (2013). Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. Estudios agrarios, 217-225.

García-Becerra, M. (2023). Relación entre la masa y la longitud de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricidae) en un agroecosistema de la región central de México. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.

Garg, V. K.; Suthar, S. y Yadav, A. (2013). Management of food industry waste employing vermicomposting technology. Bio. Technol. 126:437-443.

Gómez Avila, AB, y Hoyos Rojas, WY (2020). Evaluation of the quality of a soil subjected to different uses. (Tesis de licenciatura). Universidad de los llanos, Colombia.

Gómez Hernández, Andrea del Pilar (2014). Evaluación de la toxicidad de suelos mediante un bio-ensayo con la lombriz de tierra Eisenia fetida (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, departamento de Ingeniería Química y Ambiental Bogotá, Colombia

González Carmona, E., y Torres Valladares, C. I. (2014). La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el valle de México: caso Xochimilco. Revista Mexicana de agronegocios, 34(1345-2016-104445).

Hanc, A., y Vasak, F. (2015). Processing separated digestate by vermicomposting technology using earthworms of the genus Eisenia, International Journal of Environmental Science and Technology, 12(4), 1183–1190.

Hernández-Rodríguez, OA, Ojeda-Barrios, DL, López-Díaz, JC, y Arras-Vota, AM (2010). Organic fertilizers and their effect on the physical, chemical and biological properties of the soil. Chihuahua Technoscience, 4 (1), 1-6.

Ibáñez, J. J. (2022). ¿Hacia una conservación de la biodiversidad microbiana del Suelo a Nivel Global? *Un Universo invisible bajo nuestros pies - Los suelos y la vida*. Recuperado de https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2022/10/12/153639

Irías Banegas, O. (2004). Manual práctico para la elaboración y aplicación de Bocashi. Gob.hn. Recuperado de https://dicta.gob.hn/files/2004,-Manual-practico-de-bocashi,-G.pdf

Lett, L. A. (2014). Global threats, waste recycling and the concept of circular economy. Argentine Journal of Microbiology, 46 (1), 1-2.

Liang, W. (2009). Nematode faunal to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in northeast China. Soil Biology and Biochemestry, vol. 41, no. 5, p. 883-890.

Liu, T., Chen, X., Hu, F., Ran, W., Shen, Q., Li, H., y Whalen, J. K. (2016). Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities. Agriculture, ecosystems and environment, 232, 199-207.

López-Morales, M., Martínez-Gómez, M., y Torres-Martínez, J. (2022). Efecto del tamaño del contenedor en la producción de humus de lombriz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13(2), 119-128.

López-Morales, M., Torres-Martínez, J., y Martínez-Gómez, M. (2019). Durabilidad de los materiales utilizados en la construcción de prototipos de vermicompostadores. Revista de Ingeniería Agronómica, 38(2), 159-166.

Loza Medina, J. (2017). Composted biological waste from a pig farm in Temascaltepec, (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Marco da Silva, A., Galindo, G., y Fernandez-Turiel, JL (2012). Waters, soils and vegetation in Ibero-American basins. Ibero-American Society of Physics and Environmental Chemistry. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental.

Martínez Pérez, ME, Hernández Rodríguez, OA, y Porras Flores, DA (2020). Impact of Crop Biodiversity in a Changing Climate.

Martínez-Gómez, M., López-Morales, M., y Torres-Martínez, J. (2020). Comparación de la calidad del humus de lombriz obtenido en prototipos construidos con diferentes materiales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 44(3), 1-10.

Meiyan, X.; Xiaowei, Li.; Jian, Y.; Zhidong, H. y Yongsen, Lu. 2013. Changes in the chemical characteristics of water-extracted organic matter from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. J. Hazardous Materials. 205-206(29):24-3.

Mendoza Juárez, DC, y Mendoza Juárez, MD (2018). Production of vermicompost from the recovery of solid waste in Acatzingo. (Tesis de licenciatura). Universidad autónoma de puebla. Puebla.

Mendoza, J. (2018). Evaluación del proceso de elaboración de vermicompost con dos especies de lombriz, Eisenia foetida y Lumbricus sp., en la provincia de

Arequipa. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.

Mikolic Carlos, Ruffinelli Silvia, Dárdano Beatriz, Gabriella Jorge Escudero, Isabel Andreoni, Alberto Gómez, Basile Daniel. (2018). Manual de vermicompostaje cómo reciclar nuestros residuos orgánicos. Recuperado de https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf.

Mohammadshirazi, F., Brown, V. K., Heitman, J. L., y McLaughlin, R. A. (2016). Effects of tillage and compost amendment on infiltration in compacted soils. Journal of Soil and Water Conservation, 71(6), 443-449.

Molina-Anzures, M. F., Chávez-Servia, J. L., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Hernández-Romero, E., y Ortiz-Torres, E. (2016). Eficiencias productivas de asociaciones de maíz, frijol y calabaza (Curcurbita pepo L.), intercaladas con árboles frutales. Phyton, Buenos Aires, 85(1), 36-50.

Moreno, J.; Moral, R.; García, M. J. L.; Pascual, J. A. y Bernal, M. P. 2014. Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones. Recursos orgánicos: aspectos agronómicos y medioambientales. Colección: de residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Mundi-Prensa.

Osorio Acevedo, Á., Jiménez Reinales, N., Fajardo Montaña, D., León Sicard, T., Cruz Suárez, J. P., Clavijo Ponce, N. L., ... y Cárdenas Grajales, G. I. (2019). Agroecología. Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia. Universidad del Rosario, Colombia.

Osorio Hinostroza, J. (2023). Tendencias en el uso de plaguicidas en frutales de agroexportación en Lambayeque. (Tesis de licenciatura). Universidad nacional agraria la molina, Perú.

Pereira, M., Neta, L. C., Fontes, M. P., Souza, A. N., Matos, T. C., Sachdev, R., dos Santos, A. V., da Guarda Souza, M. O., de Andrade, M. V., Paulo, G. M.,

Ribeiro, J. N., y Ribeiro, A. V. (2014). An overview of the environmental applicability of vermicompost: from wastewater treatment to the development of sensitive analytical methods. TheScientificWorldJournal, 2014, 917348.

Perez, L., y Mibeth, J. (2015). Vegetative growth and fruit characteristics in blackberry plants. Grown with organic inputs (Tesis de licenciatura). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Pérez, M. P., y Lopez, K. H. (2022). Vermicompostaje: un camino a la sustentabilidad. Rd-icuap, 8(24), 70-82.

Pit, R., Lantrip, J., Harrison, R., Henry, C. L., Xue, D., y O'Connor, T. P. (1999). Infiltration through disturbed urban soils and compost-amended soil effects on runoff quality and quantity. (Tesis doctoral). Duluth, GA, USA.

Puig, I., Calaf Forn, M., y Montserrat, M. M. (2017). La incineración de residuos en cifras. Recuperado de Greenpeace.org. https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/contaminacion/100720.pdf

Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F., y Cabrera Rodríguez, J. A. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. Cultivos Tropicales, 35(2), 90-97.

Ramos Agüero, D., y Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos tropicales, 35(4), 52-59.

Ravindran, B.; Contreras-Ramos, S. M. y Sekaran, G. 2015. Changes in earthworm gut associated enzymes and microbial diversity on the treatment of fermented tannery waste using epigeic earthworm Eudrilus eugeniae. Ingeniería de Ecologia. 74:394-401.

Regeneradores del suelo, (2014). Bocashi de 7 días. Blogspot.com. Recuperado de https://regeneradoresdesuelo.blogspot.com/2014/12/bocashi-de-7-dias.html.

Reyes-Palomino, Smith Ervin, y Cano Ccoa, Dominga Micaela. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. Revista de Investigaciones Altoandinas, 24(1), 53-64.

Riascos-Vallejos, A. R., Crespo, G., Guerrero-Guerrero, E. M., y Medina-Mesa, Y. (2022). Effect of food source on the chemical composition of Californian red worm (Eisenia foetida) vermicompost. Cuban Journal of Agricultural Science, 56(3).

Rivera Jairo, R., Correa, E., Figueroa, C. A., y Restrepo, J. (2010). Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra. Recuperado de https://reaxionatural.files.wordpress.com/2011/09/manual-practico-de-agricultura-organica-y-panes-de-piedra.pdf

Rodríguez, M. G. (2021). La lucha contra el cambio climático y la agricultura. Retos actuales del sector agrario español, 37.

Rojas, E. H. G. (2011). Concepto y estrategias de biorremediación. Inge@ UAN-tendencias en la ingeniería. 1(2).

Román Pilar, M. M. M. y. A. P. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Fao.org. Recuperado de https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf

Rong, Y. A. N. G., SU, Y. Z., Tao, W. A. N. G., y Qin, Y. A. N. G. (2016). Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland. Journal of integrative agriculture, 15(3), 658-666.

Roque Alfaro, Henry Emerson Villatoro Alas, Oscar Jesús. (2008). Desarrollo de aplicación del ecodiseño para el manejo de desechos sólidos orgánicos generados en el mercado municipal de olocuilta, departamento de la

paz. (Tesis de Licenciatura). Universidad don Bosco, El salvador, Centroamérica.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). Physical properties of the soil. (Tesis de Licenciatura). University of the Republic Faculty of Agronomy. Montevideo, Uruguay.

Salgado Sánchez, R. (2015). Agricultura sustentable y sus posibilidades en relación con consumidores urbanos. Estudios sociales, 23(45), 113-140.

Sánchez Bandera, J. M. (2017). Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia spp: Proceso y caracterización del producto. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Sevilla, España.

Sánchez Díaz, E. (2022). Impactos de la aplicación de plaguicidas químicos en cultivos de papa. Revisión sistemática. (Tesis de licenciatura). Universidad Cesa Vallejo, Lima, Perú.

Sánchez-Olarte, J., Argumedo-Macías, A., Álvarez-Gaxiola, J. F., Méndez-Espinoza, J. A., y Ortiz-Espejel, B. (2015). Conocimiento tradicional en prácticas agrícolas en el sistema del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. Agricultura, sociedad y desarrollo, 12(2), 237-254.

Sección Fisiología (2024). Anatomía interna de la lombriz de tierra. Recuperado de https://fisiologia.tripod.com/lombriz.htm.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER. (2019). El reto: una agricultura sustentable, productiva e inclusiva. Gob.Mx, Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-sustentable-una-buena-practica-social.

Secretaría de la economía (SEECO). (2008) NMX-FF-109-SCFI-2008: Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba. SEECO.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1985). NMX-AA-015-1985 protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo. SEMARNAT.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1985). NMX-AA-022-1985: Protección al ambiente-contaminación del suelo residuos sólidos municipales-selección y cuantificación de subproductos. SEMARNAT.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). NOM-021-RECNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT.

Segura-Chavarría, D. M. (2018). Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta. (Tesis de Licenciatura). Tecnológico de Cartago, Costa Rica.

Tamayo Ortiz, C. V., y Alegre Orihuela, J. C. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. Siembra, 9(1).

Tecnología Hortícola. (2020). Investigar con acuaponía para promover mejoras en la plasticultura de la horticultura intensiva. Recuperado de https://www.tecnologiahorticola.com/ritec-acuaponia-plasticultura-horticultura/

Torres-Martínez, J., Martínez-Gómez, M., y López-Morales, M. (2021). Análisis de la factibilidad económica de la construcción de prototipos de vermicompostadores. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(1), 17-26.

Trejo Pérez, R. (2018). Los beneficios de la utilización de *Prosopis laevigata* como agente en la biorremediación de suelos contaminados con aguas residuales (Tesis de maestría) Colegio de postgraduados Montecillo, Texcoco, México.

Ttito, H. C. (2017). Evaluación de las propiedades del suelo por Incorporación de Nutrientes y Materia Organica proveniente de los Residuos Sólidos Orgánicos Agrícolas del mercado Metropolitano - I Etapa Andrés Avelino Caceres y su efecto en el cultivo del Raphanus sativus. (Tesis de licenciatura) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Urriola, L., Castillo, K. M., y Vergara, M. D. (2021). Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (Lactuca sativa L.) y pepino (Cucumis sativus). Revista Semilla Del Este, 1(2), 1-11.

Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., y Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. Orinoquia, 23(2), 123-129.

Varnero, MT, Rojas, C., y Orellana, R. (2007). Phytotoxicity indices in organic waste during composting. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 7 (1), 28-37.

Velasco, J. A., y Sepúlveda, T. L. V. (2003). El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Gaceta Ecológica*, (66), 41-53.

Velázquez Castro, J. A. (2018). Agricultura multifuncional: relevancia para el turismo en México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(7), 1494-1507.

Villarreal, A. P. B., Tumipamba, D. E. G., y Sarzosa, F. V. C. (2021). Vermicomposting: Production of Humus and Biol. In Communication, Smart Technologies and Innovation for Society: Proceedings of CITIS. Smart Innovation, Systems and Technologies (252). 591-600.

Villegas-Cornelio, V. M., y Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(2), 407-421.

Villegas-Cornelio, V. M., y Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(2), 393-406.

Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P. y Gatti, R. (1997). Influencias del uso de la tierra de las cuencas hidrográficas en la calidad del hábitat y la integridad biótica en los arroyos de Wisconsin. Pesca, 22 (6), 6-12.

Xiang, Y., Li, Y., Luo, X., Liu, Y., Yue, X., Yao, B., Xue, J., Zhang, L., Fan, J., Xu, X., y Li, Y. (2022). Manure properties, soil conditions and managerial factors regulate greenhouse vegetable yield with organic fertilizer application across China. Frontiers in plant science, 13, 1009631.