



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

“EVALUACIÓN DE EXCRETAS EN EL VERMICOMPOSTAJE POR (*Eisenia foetida*)”

TESIS

Que presenta:

Luis Pablo Meléndez Arceo

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Ingeniero en Agronomía

Director de Tesis:

Dr. Fernando Antonio Peraza Luna

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2022



TecNM

CONFORMACIÓN DEL JURADO DEL ACTO PROTOCOLARIO

La presente Tesis fue realizada por Luis Pablo Meléndez Arceo de la carrera de Ingeniería en Agronomía, con orientación en Producción Animal y con el número de control 15890057, con el título “EVALUACIÓN DE EXCRETAS EN EL VERMICOMPOSTAJE POR (*Eisenia foetida*)”, la cual fue dirigida, asesorada y revisada por el comité que fue asignado en su oportunidad, y cuyos integrantes firman su consentimiento para que este trabajo sea presentado como requisito parcial para la titulación, de acuerdo al Proceso de Titulación Integral y al Manual de Lineamientos Académicos-Administrativos del Tecnológico Nacional de México.

DIRECTOR: _____



DR. FERNANDO ANTONIO PERAZA LUNA

ASESOR: _____



M.C. JULIO CÉSAR RODRÍGUEZ PEREZ

REVISOR: _____



M.C. VICENTE REYES OREGEL

Conkal, Yucatán. Diciembre 2022

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi familia a mi madre que me ayudó a culminar mis estudios desde el principio, a mi hijo que fue mi motor para continuar y a mi novia que estuvo conmigo en todo momento

A mis revisores, al M.C. Vicente Reyes y al M.C. Julio Rodríguez por prestarme de su tiempo y su paciencia para concluir este proyecto.

Al profesor que me ayudó en el desarrollo y presentación de este trabajo, así como en todo momento que lo necesité, al Dr. Fernando Antonio Peraza Luna.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de formación y por brindarme una vida llena de opciones y oportunidades.

Agradezco a mi novia Katherine que estuvo apoyándome con su ayuda moral y emocional en todo momento.

A mi mamá y mi hermana María José que me apoyaron cuando las necesité en momentos difíciles en la transición de mis estudios.

Al Dr. Fernando Antonio Peraza Luna, por haberme brindado su amistad y apoyo desde el comienzo de este proyecto y hasta el final.

RESUMEN

Este proyecto surgió con el propósito de trabajar con excretas de algunos animales para convertirlos en fertilizantes ecológicos y de gran utilidad para la nutrición vegetal. Se propuso establecer un método para la producción de vermicomposta, y que demuestre alcanzar los mejores resultados para el consumo de la lombriz roja. Se trabajó con residuos orgánicos, entre los cuales se encuentra el estiércol de ovino, gallina, caballo y cerdo, observándose que con el sustrato de ovino se logró una evaluación máxima como la mejor fuente de nitrógeno, así como también se obtuvieron los mejores resultados de contenido de potasio (K^{+1}) y una buena relación C/N. Asimismo, con el estiércol de caballo se obtuvieron los mejores valores de fósforo (P^{+5}) y con mayor cantidad de lombrices, y, finalmente, con el estiércol de gallina se observaron los mejores resultados de la conductividad eléctrica (C. E.). El pH que casi logró llegar a neutro fue el del sustrato de estiércol de cerdo que llegó a mostrar buenos resultados con el carbono orgánico (COT).

Comparando los contenidos de N, P, K y otros parámetros de calidad de los biofertilizantes, se concluyó que el estiércol de caballo fue el que permitió obtener mejores resultados obtenidos con las otras excretas. Se observó que todos los demás sustratos mostraron buenos resultados de calidad de las vermicompostas, las que podrían ser utilizadas de acuerdo a las necesidades de los cultivos agrícolas en donde se notara alguna posibilidad de emplearlas.

Palabras clave: vermicomposta, lombriz roja californiana, residuos orgánicos.

ABSTRACT

This project arose with the purpose of working with the excreta of some animals to convert them into ecological fertilizers that are very useful for plant nutrition. It was proposed to establish a method for the production of vermicompost, and that proves to achieve the best results for the consumption of the red worm. We worked with organic waste, including sheep, chicken, horse and pig manure, observing that with the sheep substrate a maximum evaluation was achieved as the best source of nitrogen, as well as the best results of potassium content (K+1) and a good C/N ratio. Likewise, with horse manure the best values of phosphorus (P+5) were obtained and with a greater number of earthworms, and, finally, with chicken manure the best results of electrical conductivity (E.C.) were observed. The pH that almost managed to reach neutral was that of the pig manure substrate that came to show good results with organic carbon (TOC).

Comparing the contents of N, P, K and other quality parameters of the biofertilizers, it was concluded that the horse manure was the one that allowed the best results obtained with the other excreta. It was observed that all the other substrates showed good quality results for the vermicomposts, which could be used according to the needs of the agricultural crops where there was any possibility of using them.

Keywords: vermicompost, Californian red worm, organic waste.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pag
I. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento del problema.....	14
1.3 Justificación.....	15
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	17
2.1 Objetivo general.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
2.3 Hipótesis.....	17
III. FUNDAMENTO TEÓRICO	18
3.1 ¿Qué es la vermicultura?.....	18
3.2 Vermicultura y producciones orgánicas.....	19
3.3 Vermicultura y desechos urbanos.....	20
3.4 Características de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	21
3.4.1 Características morfológicas.....	22
3.5 Características y propiedades de la vermicomposta.....	26
3.5.1 Propiedades químicas.....	27
3.5.2 Propiedades físicas.....	27
3.5.3 Propiedades biológicas.....	28

3.6 Evaluación de la vermicomposta.....	29
IV. DESARROLLO DEL PROYECTO	30
4.1 Lugar del estudio.....	30
4.2 Lombriz de tierra empleada.....	30
4.3 Recolección de residuos orgánicos.....	30
4.4 Precomposteo de los residuos orgánicos.....	31
4.5 Lectura de Temperatura.....	32
4.6 Metodología de los Tratamientos.....	33
4.7 Alimentación de las lombrices.....	34
4.8 Registro de los conteos semanales de lombrices.....	35
4.9 Análisis de laboratorio.....	36
4.9.1 Nitrógeno, Fósforo y Potasio.....	37
4.9.2 Carbono orgánico.....	37
4.9.3 Relación C/N.....	37
4.9.4 Conductividad eléctrica y pH.....	38
4.9.5 Análisis estadístico.....	38
4.10 Variables en estudio.....	39
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
5.1 Resultados de Nitrógeno de la primera y segunda lectura.....	41
5.2 Resultados de Fósforo de la primera y segunda lectura.....	43
5.3 Resultados de Potasio de la primera y segunda lectura.....	44
5.4 Resultados de pH de la primera y segunda lectura.....	46
5.5 Resultados de Conductividad Eléctrica de la primera y segunda lectura.....	48

5.6 Resultados de Carbono Orgánico de la primera y segunda lectura.....	50
5.7 Resultados de la relación C/N de la primera y segunda lectura.....	51
5.8 Resultados del Conteo semanal de lombrices.....	53
VI. CONCLUSIONES	55
VII. BIBLIOGRAFÍA	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Registro de fluctuación poblacional de lombrices</i>	36
Tabla 2. <i>Variables a investigar</i>	39
Tabla 3. <i>Resultados de las variables de la primera y segunda lectura</i>	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lombriz roja californiana domesticada en sustrato orgánico	18
Figura 2. Secciones de la lombriz	22
Figura 3. Ciclo de vida de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	25
Figura 4. Recolección de estiércol	31
Figura 5. Volteo de precomposta a base de estiércoles	32
Figura 6. Lectura de temperatura de precompostas con estiércol de cerdo, de caballo, de ovino y de gallina	33
Figura 7. Charolas con los sustratos	34
Figura 8. Conteo de lombrices de las charolas	35
Figura 9. Registro de pesos de las muestras tomadas de los sustratos	37
Figura 10. Lecturas de N-P-K con fotómetro multiparamétrico	38
Figura 11. Lecturas de pH	38
Figura 12. Resultados de Nitrógeno de la primera y segunda lectura	41
Figura 13. Resultados de Fósforo de la primera y segunda lectura	43
Figura 14. Resultados de Potasio de la primera y segunda lectura	44
Figura 15. Resultados de pH de la primera y segunda lectura	46
Figura 16. Resultados de Conductividad Eléctrica de la primera y segunda lectura	48
Figura 17. Resultados de Carbono Orgánico de la primera y segunda	50

lectura

Figura 18. Resultados de la Relación C/N de la primera y segunda 51

lectura

Figura 19. Resultados de la fluctuación de biomasa animal de lombrices 53
en cada semana

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El manejo de la vermicultura, es una de las nuevas técnicas de la agricultura orgánica, en la que por medio de procesos naturales en el suelo favorecen su dinámica poblacional y como consecuencia, obtener un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico (Guadarrama y Taboada, 2004). La aplicación de abonos orgánicos se remonta a la época de los aztecas y mayas, quienes utilizaban el pescado como fuente de fósforo (Martínez, 2008).

La vermicultura, es una tecnología que utiliza una especie de lombriz domesticada, como herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como resultado humus, carne y harina de lombriz. La vermicultura representa un negocio en expansión, y en un futuro podría ser el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos de las zonas rurales. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) originaria de Eurasia, fueron criadas intensivamente a partir de los años 50 en California (Estados Unidos), y empleada en más del 80% de los criaderos del mundo, por lo que la hace la especie más cultivada en el mundo dada su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales, potencial reproductor y capacidad de apiñamiento (Guadarrama y Taboada, 2004).

1.2 Planteamiento del problema

En las actividades productivas tanto urbanas como rurales se generan grandes cantidades de desechos orgánicos que contaminan, provocando daños al medio ambiente, por lo que se han planteado alternativas biotecnológicas que permitan una forma de vida sustentable, lo cual conlleva al objetivo adicional de incrementar el valor económico de esos desechos transformándolos en productos orgánicos, como la vermicomposta (Corlay et al., 1999).

El uso de la vermicomposta es muy variado; puede usarse como mejorador del suelo o también como sustrato para el crecimiento de plantas en invernaderos o viveros. En el proceso de producción de vermicomposta intervienen varios factores tales como el tipo y cantidad de materia orgánica, la especie y la cantidad de lombrices, la humedad de la cama o biopila y las condiciones de las instalaciones utilizadas. (Kale et al., 1992).

1.3 Justificación

En la actualidad, los suelos agrícolas están cada vez más deteriorados por el uso indiscriminado de productos químicos sintéticos, destruyendo irreversiblemente la flora y fauna existentes. Al mismo tiempo, en el Oriente de Yucatán se tiene una ganadería intensiva que genera gran cantidad de excretas contaminantes, ya que estas excretas se vierten al suelo sin ningún tratamiento. Por lo que, como medidas biorremediales, se han propuesto en diferentes foros la utilización de esos residuos como mencionan los autores Neuhauser, Loehr y Malecki (1988), a fin de determinar las cualidades de distintos residuos en cuanto a sus bondades para el composteo y su uso biofertilizante, para determinar qué

efectivos pueden ser los desechos orgánicos, generados en la región oriental, en beneficio del medio ambiente agrícola; como es la presente propuesta de investigación, donde se evaluaron cuatro sustratos: residuos vacunos, gallinaza, porcícola y de caballo para producir vermicomposta.

El vermicompostaje es una técnica versátil para la producción de composta, y con los nuevos retos que promueve el desarrollo sustentable, sería una opción biotecnológica para mejorar la calidad del suelo gracias al efecto que tiene la lombriz sobre la transformación de la materia orgánica (Neuhauser et al., 1988).

De los resultados obtenidos con la presente investigación se demuestra la viabilidad técnica del uso de diferentes tipos de sustratos para la producción de vermicomposta y, dependiendo tanto del origen (tipo de excreta) como de su volumen, se podría llegar a reducir costos en el manejo de residuos de la industria ganadera o de lodos residuales (Solleiro, del Valle y Sánchez, 1993).

Finalmente, también es importante mencionar que a través del vermicompostaje, con el uso de los biofertilizantes, cabría la posibilidad de disminuir los niveles de bacterias patógenas e, inclusive, obtener efectos descontaminantes en el atrapamiento de los metales pesados durante el proceso de biotransformación, por la extracción que realizan las lombrices al digerir los sustratos que atraviesan su tracto intestinal y retener esos metales en su interior (Domínguez, Aira y Gómez, 2009).

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Evaluar diferentes excretas animales como sustratos para obtener un abono o biofertilizante de buena calidad mediante su vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

2.2 Objetivos específicos

1. Pretratar excretas animales y desechos vegetales producidos en la institución para convertirlos en sustratos aptos para la alimentación de lombriz de tierra.
2. Lograr la producción de vermicomposta como un biofertilizante de buena calidad para los cultivos agrícolas.

2.3 Hipótesis

El contenido nutricional de la vermicomposta dependerá del origen de las excretas animales, que serían transformadas mediante el vermicompostaje en un biofertilizante para uso agrícola.

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 ¿Qué es la vermicultura?

Esta biotecnología, prácticamente desconocida entre nosotros hasta hace poco tiempo, se inició en EEUU, se extendió a Europa y finalmente hacia el resto del mundo; aplica normas y técnicas de producción utilizando las lombrices rojas californianas (Figura 1) para reciclar residuos orgánicos biodegradables y, como fruto de su ingestión, los anélidos efectúan sus deyecciones convertidas en uno de los biofertilizantes orgánicos más importantes para la agricultura orgánica. (Díaz, 2002).



Figura 1. Lombriz roja californiana domesticada en sustrato orgánico (Díaz, 2002).

Con su actividad participan en la fertilización, aireación, formación del suelo y es posible obtener materia orgánica muy estable en su tiempo relativamente corto para su uso inmediato en la agricultura. Se trata de la vermicomposta, sustancia inolora parecida a la borra de café que, en comparación con la urea, es cinco veces superior en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. (Díaz, 2002).

Según Díaz (2002), aún persiste la creencia que las lombrices de tierra son dañinas en los almácigos; en realidad, por carecer de dientes y mandíbulas no pueden destruir las raíces porque su alimentación es micrófaga.

La cría y reproducción de estos anélidos se efectúa en cunas apropiadas que puede construirse de diferentes materiales. Dichas cunas se tapan con medias sombras para evitar el accionar de los depredadores (batracios, ratas y/o pájaros). Esta explotación, que puede ser manejada por niños y/o adultos indistintamente, no ocasiona ningún tipo de enfermedad potencial. En ninguna de las etapas del vermicompostaje existen emanaciones de olor alguno y puede clasificarse como una actividad base de cualquier granja autosustentable para el desarrollo orgánico de cualquier tipo de producción agro ganadera. Esta actividad puede desarrollarse como micro emprendimiento o a gran escala (Díaz, 2002).

3.2 Vermicultura y producciones orgánicas

La agricultura orgánica es uno de los varios enfoques de la agricultura sustentable. En efecto, muchas de las técnicas utilizadas, por ejemplo, los cultivos intercalados, la integración entre cultivos y ganado se practican en el marco de diversos sistemas agrícolas. (De Sanzo y Ravera, 1999).

Lo que distingue a la agricultura orgánica es que, reglamentada por diferentes leyes y programas de certificación, tiene prohibidos casi todos los insumos sintéticos. Es

aquí donde cabe mencionar la acción de la vermicomposta como mejorador de suelos en términos físicos, químicos y biológicos, acordes con aquella reglamentación. (Díaz, 2002).

Más allá de las normas, el uso de la vermicomposta se generaliza debido a sus extraordinarias cualidades, es idóneo para el cultivo de todo tipo de plantas, de ahí que puede ser utilizada, con excelentes resultados en la horticultura, fruticultura, floricultura, cultivos de granos básicos, forestales, entre otros. (Pedrero, Zuart y Ramírez, 2016).

Una agricultura orgánica debidamente gestionada reduce o elimina la contaminación del agua y permite conservar el agua y el suelo en las granjas. (Díaz, 2002).

3.3 Vermicultura y desechos urbanos

Actualmente, el problema de los residuos en las sociedades industriales se está dejando sentir con particular intensidad donde el extraordinario interés que ha hecho el tema de las lombrices se debe a que estos invertebrados son unos formidables devoradores de materias orgánicas en descomposición. Por lo que la búsqueda de soluciones que posibiliten el reciclaje de los desechos orgánicos, constituye una dominante necesidad para un adecuado desarrollo tecnológico y cuidado del medio ambiente. Es de esperarse, en pensar en la lombriz para eliminar o digerir los desechos urbanos hay un corto paso, al menos en teoría, (Vidaña, Hernández y Muro, 2017).

Según Durán (1995) menciona que una opción para el tratamiento y la utilización de residuos es la de implementar la vermicultura como técnica biotecnológica que permite utilizar lombrices con el propósito de reciclar desechos orgánicos y transformarlos en un abono de alto valor agronómico, contribuyendo a la conservación del suelo.

Se está considerando la lombriz como lo que realmente es; se la estudia con más atención y se está intentando valorar objetivamente su verdadera capacidad productiva para aprovechar, del mejor modo, las interesantes posibilidades que su cría ofrece. (Díaz, 2002).

3.4 Características de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

La lombriz Roja Californiana *Eisenia Foetida* (figura 2), reúne características morfo-fisiológicas y comportamentales para introducirla en una explotación agropecuaria.

- Temperatura: La lombriz roja Californiana vive normalmente en zonas de clima templado, su temperatura corporal oscila entre 19°C y 20°C.
- Humedad: La lombriz Roja vive normalmente en humedades del 82%.
- Tamaño: En estado adulto mide entre siete y 10 cm de longitud, con un diámetro de tres a cinco mm.
- Peso: en edad adulta, su peso aproximado es de un gramo.
- Longevidad: Vive hasta 16 años, durante las cuales se acopla regularmente cada siete días, desde los tres meses de edad si la temperatura y la humedad del medio son las adecuadas. (Díaz, 2002)

3.4.1 Características morfológicas. La pared del cuerpo de las lombrices está constituida de afuera hacia adentro, por:

- Cutícula: lámina muy delgada de un color marrón brillante.
- Epidermis: Epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa; también células glandulares que producen una secreción serosa.
- Capas musculares: Son dos una circular externa y una longitudinal interna.
- Peritoneo: Capa más interna que limita exteriormente con el celoma de la lombriz.
- Celoma: Cavidad que contiene liquido celómico; dentro de este se suspenden los órganos internos del animal, se extiende a lo largo del cuerpo y envuelve el canal alimentario.

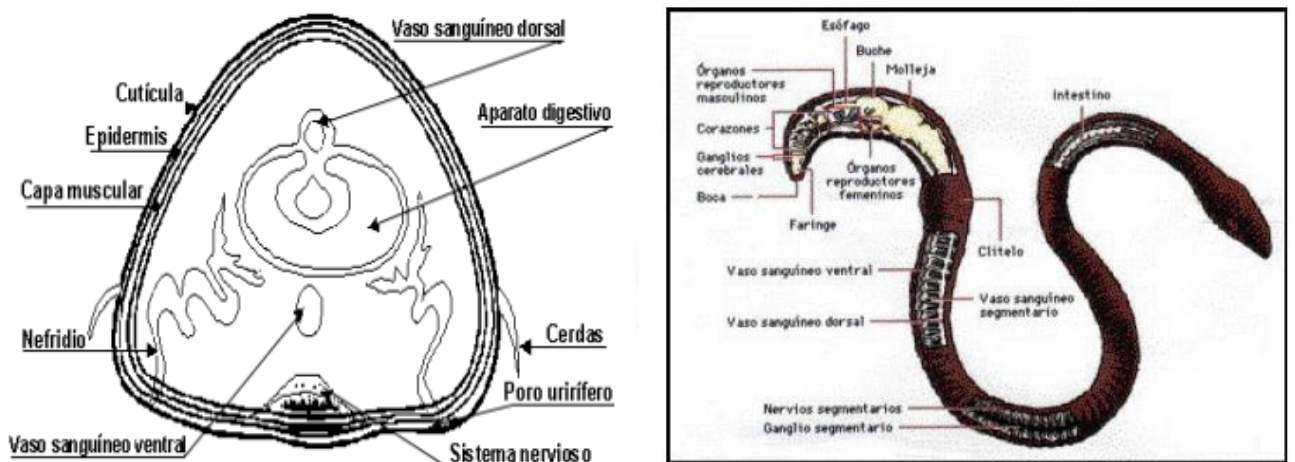


Figura 2. Secciones de la lombriz de tierra (Díaz, E. 2002).

- Clitelo: Es un claro abultamiento glandular ubicado en la parte anterior del cuerpo, y se caracteriza por secretar una sustancia que forra las capsulas para alojar los

huevo aparece solo en las lombrices adultas y representa la madurez sexual. (Martínez, 2016).

- **Sistema digestivo:** El sistema digestivo de la lombriz inicia con la boca que se conecta a estructuras como la faringe, el buche, la molleja hasta llegar al intestino, el cual termina en el ano. Cada estructura cumple una función importante para poder llenar las necesidades alimenticias de las lombrices. Es importante mencionar que el alimento básico de la lombriz está compuesto por microorganismos, razón por la cual solo se alimentan de líquidos que los contienen. Al no tener la lombriz dientes ni mandíbulas obtienen su alimento por succión al presionar sobre la superficie una pequeña estructura presente en la boca que se conoce como prostomio o lengua.
- **Respiración:** Las lombrices respiran por medio de la cutícula, al no tener un sistema circulatorio organizado; la sangre circula por vasos capilares que se ubican junto a la cutícula húmeda de la pared del cuerpo lo que favorece la absorción de oxígeno y liberación de anhídrido carbónico; por esta razón, la cutícula debe permanecer siempre húmeda, de lo contrario la lombriz se seca y muere.
- **Alimentación y Nutrición:** Una lombriz consume diariamente una cantidad de residuos orgánicos equivalente a su peso: El 60% se convierte en abono y el resto se convierte en metabolismo y para generar tejidos corporales.
- Las lombrices comen casi cualquier sustancia orgánica y son muy golosas para los azúcares, sales y la celulosa. Tanto más fino sea el granulado de la comida, menor dificultad tendrá para ingerirla y, por tanto, mayor será la producción de vermicomposta; es indispensable que el granjero triture el alimento antes de suministrarlo, para acelerar el proceso de degradación y mejorar la textura. La

lombriz humedece el alimento con secreciones semejantes a la saliva, procedentes a la región bucal, y luego lo engulle por acción muscular del prosoma (labios) y la faringe. Los ácidos orgánicos del alimento se neutralizan por el carbonato de calcio secretado por las glándulas calcíferas del esófago, por lo cual el alimento digerido es de reacción alcalina. (Suárez y Salazar, 2010.)

- pH: Al igual que la temperatura el pH es sumamente importante; lo ideal es que se encuentre entre 6.5 y 7.5, un pH básico o ácido puede ocasionar serios problemas a la lombriz y llegar a ocasionar su muerte. El método más eficiente para medir el pH es utilizando la misma lombriz, ella indicará si el material listo para poder vivir en él.
- Reproducción: Las lombrices como son hermafroditas incompletas no pueden autofecundarse y deben realizar un acoplamiento con otras lombrices para poder reproducirse. Los sistemas masculinos y femeninos de las lombrices están localizados en la parte anterior; como resultado del acoplamiento de dos lombrices se producen huevos o capsulas uno por cada lombriz (*Figura 3*).

La fecundación se realiza a través del clitelo, cuyas glándulas producen el capullo o capsula de color amarillo y de tres mm por cuatro mm, estas capsulas se abren después de 12 a 21 días según la temperatura del medio donde se encuentre ubicadas, en cada huevo se albergan dos o 20 pequeñas lombrices, la capsula contiene un líquido (albúmina) que constituye la fuente alimenticia de las pequeñas lombrices durante el periodo de incubación.

La actividad sexual de las lombrices esta disminuida en los meses calurosos, como también en los meses demasiados fríos y llega a su máxima capacidad de fecundación en los meses templados. Logra su madurez sexual a los tres meses y se considera adulta a los siete meses después de su nacimiento. Las lombrices al nacer son blancas, a los cinco o seis días son rosados y a los 15 o 20 días son de color rojo oscuro.



Figura 3. Ciclo de vida de la lombriz *Eisenia foetida* (Díaz, 2021).

Eisenia foetida es un animal confiable dado que no sufre ni transmite enfermedades y tampoco produce un impacto ecológico ante una eventual fuga a un medio natural. Pueden sufrir daños por lesiones e infecciones producidas por acción de insectos o parásitos, ciempiés, hormigas. Tener en cuenta que si la lombriz es herida cerca del clitelo puede infectarse y ocasionarle la muerte (Sullcata, 2014).

Según “Agrobit” (2003), si hay presencia de sustancias nocivas en la comida puede provocar una disminución de las lombrices y también una pérdida de peso. En algunos casos afectan a la musculatura impidiendo su locomoción o el apareamiento.

3.5 Características y propiedades de la vermicomposta

La vermicomposta es un abono orgánico proveniente de la actividad de las lombrices; se trata de un producto de color café oscuro, granulado, homogéneo e inoloro.

La vermicomposta tiene algunas características físicas y químicas bien definidas: material oscuro, agradable olor, su bioestabilidad evita la fermentación o putrefacción, alta carga enzimática y bacteriana que promueve la solubilidad de elementos nutritivos que facilitan la absorción radicular, mantiene los minerales disponibles evitando la lixiviación. Favorece la germinación y el desarrollo de plantas. (Moreno, 2005).

La transformación de la vermicomposta como ácidos húmicos de buena calidad nutritiva para las plantas, hecha por las lombrices que los trituran y digieren y los microorganismos que producen la fermentación de la masa, y la transformación a ácidos fúlvicos y huminas, es trabajo fundamental de las lombrices que atacan las paredes de las células vegetales por medio de las enzimas digestivas y alteran la estructura de los granos de roca y minerales por medio de sus jugos gástricos. De todo ello extraen savia, calcio, magnesio y demás elementos que eliminan en mayor proporción de lo que absorben.

El humus de lombriz es conocido con muchos nombres comerciales en el mundo de la vermicultura: vermicomposta, lombricompost, worm casting, o lombricompuesto.

Está formado principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrogeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismo benéficos, hormonas y todos los macros y micro nutrientes con valores que dependen de las proporciones y de las características químicas del sustrato que sirvió como alimento a las lombrices.

Kale et al. (1992) menciona que la vermicomposta cumple un rol trascendente al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, influyendo de la siguiente manera:

3.5.1 Propiedades químicas.

Potencializa los cultivos al incorporar a la rizósfera nutrientes den formas inmediatamente asimilables.

- a) Incrementa nuestra disponibilidad de Nitrógeno, Fósforo y Calcio.
- b) Incrementa también la eficiencia de fertilización, particularmente con el Nitrógeno.
- c) Estabiliza la reacción del suelo debido a su alto poder buffer.
- d) Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- e) Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias patógenas.

3.5.2 Propiedades físicas.

Posee propiedades coloidales que al aumentar la porosidad y aireación del suelo contribuyen a la infiltración y retención del agua y al desarrollo radicular.

- a) Mejora la estructura, dándoles menor densidad aparente a los suelos pesados y compactos y aumentando la unión de todas las partículas en los suelos arenosos.
- b) Mejora la permeabilidad y aireación.
- c) Reduce la erosión del suelo.
- d) Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- e) Confiere color oscuro al suelo reteniendo calor.

3.5.3 Propiedades biológicas.

Estimula la bioactividad al tener los mismos microorganismos benéficos del suelo pero en mayor cantidad, creando un medio antagónico para algunas patógenos existentes y neutraliza sustancias tóxicas como restos de herbicidas, insecticidas, etc. Y solubiliza elementos nutritivos poniéndolos en condiciones de ser aprovechados por las plantas gracias a la presencia de las enzimas que incorpora y sin las cuales no sería posible ninguna reacción bioquímica.

- a) Controla el damping-off o mal de los almácigos por su pH cercano a siete y su actividad microbiana, ya que no ofrece un medio óptimo para el desarrollo de los hongos patógenos.
- b) La vermicomposta es fuente de energía, la cual incentiva la actividad microbiana.

- c) Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y se diversifica la flora microbiana.

3.6 Evaluación de la vermicomposta

La producción de vermicomposta en el trópico húmedo es importante para abastecer las demandas en la producción de forrajes para la ganadería orgánica certificada y los jardines certificados, así como en las áreas en proceso de reconversión, por lo que es necesario conocer el potencial productivo del material biológico adaptado a diferentes sustratos en condiciones tropicales. (Castro, 2014).

En tal sentido, Sierra (2009) evaluó el crecimiento poblacional de la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) en cuatro sustratos orgánicos (Estiércol de equino, desechos hortícolas previamente precompostados, Estiércol de Bovino y Lechuga acuática (*Pistia stratiotes*)). Obteniendo para la variable multiplicación poblacional de *Eisenia foetida*, el estiércol de equino presento el número más elevado de la población de lombrices, con respecto a los demás sustratos evaluados, indicando ser un sustrato apropiado para la reproducción de esta especie de lombriz.

Por otra parte, Romero, Ocampo, Sandoval y Tobar (2018) concluyen en su investigación que el comportamiento de *Eisenia foetida*, está directamente relacionado con el tipo de sustrato en el cual se desarrolla.

IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Lugar de estudio

La granja de lombrices se encuentra en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tizimín en la “unidad de procesos agroecológicos para el desarrollo sustentable”. El plantel está localizado en el km 3.5 de la carretera final aeropuerto Cupul a Tizimín perteneciente al municipio de Tizimín, Yucatán.

4.2 Lombriz de tierra empleada

La lombriz de tierra utilizada en este trabajo fue la especie *Eisenia foetida*, denominado comúnmente “lombriz roja californiana”. Los anélidos fueron facilitados por el mismo plantel el Instituto Tecnológico de Tizimín.

4.3 Recolección de residuos orgánicos

Se llevó a cabo la recolección de desechos orgánicos (*Figura 5*) en primer lugar para la alimentación de las lombrices y evaluación como mejor sustrato para la reproducción, mejor alimentación y mejor contenido nutritivo de la vermicomposta. Estos se recolectaron de los corrales de ganado ovino y en la granja porcina en las áreas de producción del plantel, la gallinaza y el estiércol de caballo fueron recolectados a medio kilómetro al Noreste del plantel en el rancho “Los arbolitos”.



Figura 4. Recolección de estiércol.

- Estiércol de ovino: los animales son alimentados en pradera con gramíneas y leguminosas, complementando su alimentación con concentrados.
- Estiércol de caballo: alimentados en establos con pacas de pasto alternándolo con pastoreo y complementando su alimentación con alimentos concentrados.
- Estiércol de gallina: las aves son alimentadas en naves con alimentos balanceados y puestas a libertad alrededor de la nave para su movilidad.
- Estiércol de cerdo: los animales son alimentados en sus naves con alimentos balanceados.

4.4 Precomposteo de los residuos orgánicos

Para poder aplicar los estiércoles tratados a las lombrices, fue necesario hacer un previo composteo para bajar la alcalinidad y así poder ser consumido por las lombrices, ya

que las lombrices no toleran sustratos muy alcalinos (Vidaña et al., 2017). Los estiércoles que mostraron alcalinidad fueron la bovinaza y la ovinaza.



Figura 5. Volteo de precomposta a base de estiércoles.

El estiércol fue aireado para favorecer el proceso de precompostaje cada cinco días (Farías, Ballesteros y Bendeck, 1999). El proceso de precompostaje duró cuatro semanas, periodo en el cual se controló la humedad regando periódicamente mediante aspersiones con agua de pozo de manera de mantenerla cercana al 75% de humedad (Figura 7).

4.5 Lectura de Temperatura

La temperatura se midió en grados Celsius (°C) y fue registrada diariamente mediante el uso de termómetros de pivote de acero inoxidable y el compost se consideró

estabilizado cuando ésta declinó alrededor de los 25° C después de haber presentado las etapas mesofílica durante dos días, termofílica durante 10 días y de enfriamiento – maduración en los cinco días restantes (Castillo et al, 1999).



Figura 6. Lectura de temperatura de precompostas con estiércol de cerdo, de caballo, ovino y de gallina.

También se tomaron lecturas de temperaturas en los recipientes donde se colocaron los sustratos con sus respectivas repeticiones, para lograr el desarrollo y reproducción óptimas de las lombrices que debe oscilar entre los 25°C y los 28°C; así como también lograr una mayor y mejor producción de la vermicomposta. Al aumentar considerablemente la temperatura en los sustratos se procedía a regarlas.

4.6 Metodología de los Tratamientos

Se obtuvo una precomposta de 50 kg de cada tratamiento, la cual logró su estabilización en 20 días. De cada precomposta elaborada se tomaron tres muestras de 10 kg consideradas como repeticiones las cuales fueron inoculadas con 100 lombrices adultas

cada una, pero previamente se realizó un análisis para caracterización de los materiales utilizados como precomposta.

Las lombrices se colocaron en un lugar sombreado y con agua disponible (*Figura 8*) debido a que las lombrices no toleran la luz solar y también requieren de mucha agua para realizar su respiración al igual que nos servirá para el riego de la precomposta de los estiércoles.



Figura 7. Charolas con los sustratos.

4.7 Alimentación de las lombrices

Al principio del proyecto se colocó una porción de vermicomposta hecha a base de estiércol de ovinos con los tres sustratos diferentes, esto debido a que las lombrices pasaron por un periodo de adaptación porque solo consumían estiércol de ovinos. De igual manera, se alimentaron a las lombrices con los cuatro sustratos la cuarta semana del proyecto por única vez con la intención de observar el comportamiento de ellas a través de las semanas.

4.8 Registro de los conteos semanales de lombrices

En la Tabla 1 tenemos datos de las variaciones de la densidad poblacional que puedan tener las lombrices de cada sustrato. En cada sustrato se realizó un conteo del total de lombrices presentes en la población (*Figura 9*). Podemos apreciar que la semana se comienza en la número cinco, esto se debe a que a las cuatro semanas anteriores nos dedicamos a recolectar los estiércoles y a precompostarlos previamente.



Figura 8. Conteo de lombrices de las charolas.

Tabla 1

Registro de fluctuación poblacional de lombrices.

POBLACIÓN DE LOMBRICES				
	Estiércol de caballo	Estiércol de gallina	Estiércol de cerdo	Estiércol de ovino
Tiempo Semanas	Lombrices	Lombrices	Lombrices	Lombrices
4	100	100	100	100
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

4.9 Análisis de laboratorio

Se llevaron a cabo análisis de laboratorio para medir los niveles de Nitrógeno, Carbono orgánico, Relación C/N, Fósforo, Potasio, pH y conductividad eléctrica de todos los diferentes sustratos para evaluar la eficacia de cada uno y con el objeto de obtener un perfil del medio en que se desarrollaron las lombrices. Lo realizamos en la cuarta semana del proyecto, es decir, al inicio del proyecto y también en la semana 20, hasta el final del proyecto (*Figura 10*).



Figura 9. Registro de pesos de las muestras tomadas de los sustratos.

- **4.9.1 Nitrógeno, Fósforo y Potasio.** Se determinaron por medio del fotómetro multiparamétrico de sobremesa HANNA para laboratorios, con tratamientos de carbón activado y filtrado de los sólidos de sustratos (*Figura 11*).
- **4.9.2 Carbono orgánico.** El carbono se analizó con el método de combustión húmeda de Walkley – Black. (Chapman y Pratt, 1973)
- **4.9.3 Relación C/N.** Se calculó la relación C/N dividiendo los datos obtenidos de carbono orgánico y nitrógeno total.



Figura 10. Lecturas de N-P-K con fotómetro multiparamétrico HANNA.

- **4.9.4 Conductividad eléctrica y pH.** Se determinó mediante un potenciómetro y conductímetro C3010 con ayuda de sus dos electrodos en diferentes canales.



Figura 11. Lecturas de pH

- **4.9.5 Análisis estadístico.** Se realizó Análisis de varianza (ANOVA) con un solo factor y Pruebas de significación según Tukey para separación de medias con el nivel $P < 0.05$ con el software Minitab 18.

4.10 Variables en estudio

Las principales variables en estudio del proyecto se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 2

Variables a investigar.

Tratamientos	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Ph		C.E.		Carbono Orgánico		Relación	
	Mg/l		Mg/l		Mg/l		UP		dS/m		%		C/N	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Estiércol de Caballo														
Estiércol de Ovino														
Estiércol de Cerdo														
Estiércol de Gallina														

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las medias de las variables estudiadas en el proceso de vermicompostaje. A partir de estos resultados se elaboraron las figuras que a continuación se muestran, realizando una comparación estadística de los mismos. Cabe mencionar que los valores fueron medidos con las unidades de mg/l pero es equivalente a ppm.

Tabla 3

Resultados de las variables de la primera (1) y segunda (2) lectura.

Tratamientos	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Ph		C.E.		Carbono Orgánico		Relación	
	Mg/l		Mg/l		Mg/l		UP		dS/mm		%		C/N	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Estiércol de Caballo	4.34	4.13	11.6	6.27	48	24	8.05	8.01	14.7	14.63	19.4	14.2	22.4	17.2
Estiércol de Ovino	4.98	4.16	10.5	6.05	51	28	8.53	8.49	15.2	14.77	16.3	13.7	16.3	16.5
Estiércol de Cerdo	4.7	4.09	5.7	3.65	29.8	16	8.02	7.88	15.5	14.9	16.7	14.5	17.8	17.7
Estiércol de Gallina	5.03	3.98	7.38	4.32	31.2	22	8.23	8.22	15.3	14.61	18.9	14.1	18.8	17.7

5.1 Resultados de Nitrógeno de la primera y segunda lectura

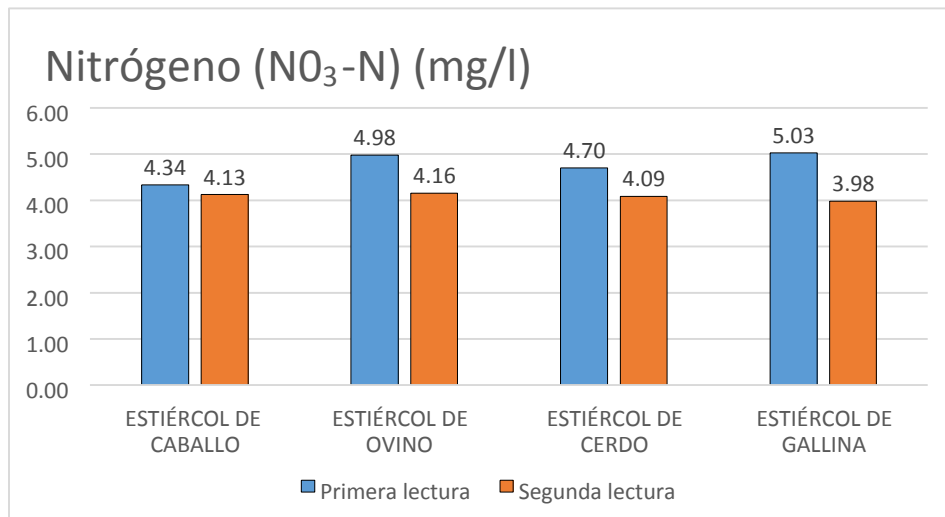


Figura 12. Resultados de Nitrógeno de la primera y segunda lectura.

En la primera lectura se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en los valores de nitrógeno entre los sustratos utilizados. El estiércol de gallina (tratamiento D) con 5.03 mg/l fue el que presentó mayor concentración promedio, pero estadísticamente no es diferente del estiércol de Ovino (tratamiento B) con 4.98 mg/l, aunque fue el segundo valor más alto de Nitrógeno, enseguida le sigue el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con 4.70 mg/l y por último está el estiércol de Equino con un valor de 4.34 mg/l y fue significativamente menor al resto de los sustratos.

Para el segundo análisis de Nitrógeno igualmente se encontró significancia estadística ($p < 0.05$). En esta ocasión se encontró el estiércol de Ovino (tratamiento B) con una media mayor de 4.16 mg/l, en segundo lugar estuvo el estiércol de caballo (tratamiento A) con una media de 4.13 mg/l, seguido por el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con 4.09 mg/l como media y, por último estuvo el estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media

de 3.98 mg/l. Según Mejía (2017) en sus resultados de vermicomposta obtuvo un rango de Nitrógeno de NO₃-N de 1.693mg/l y 2.18 mg/l, por lo que en este proyecto estuvimos un rango más elevado. Al igual, en otro resultado de Nitrógeno; Morales, Fernández, Montiel y Peralta (2009) obtuvieron el valor más elevado de 2.83 mg/l en su sustrato de cerdo por lo que también se superó ese valor.

Las lombrices tienen un gran impacto en la transformación de nitrógeno durante el vermicomposteo a través de las modificaciones de las condiciones ambientales y de su interacción con los microorganismos, favoreciendo así la mineralización al producir condiciones que promueven la nitrificación, que resulta en una rápida conversión de nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico y nitratos, que son aprovechables por los microorganismos o pueden perderse en el medio ya que estas son eliminadas por los nefridiósporos en formas de ácidos úricos o amonio o por la epidermis de la lombriz como microproteína (González et al., 2007).

5.2 Resultados de Fósforo de la primera y segunda lectura

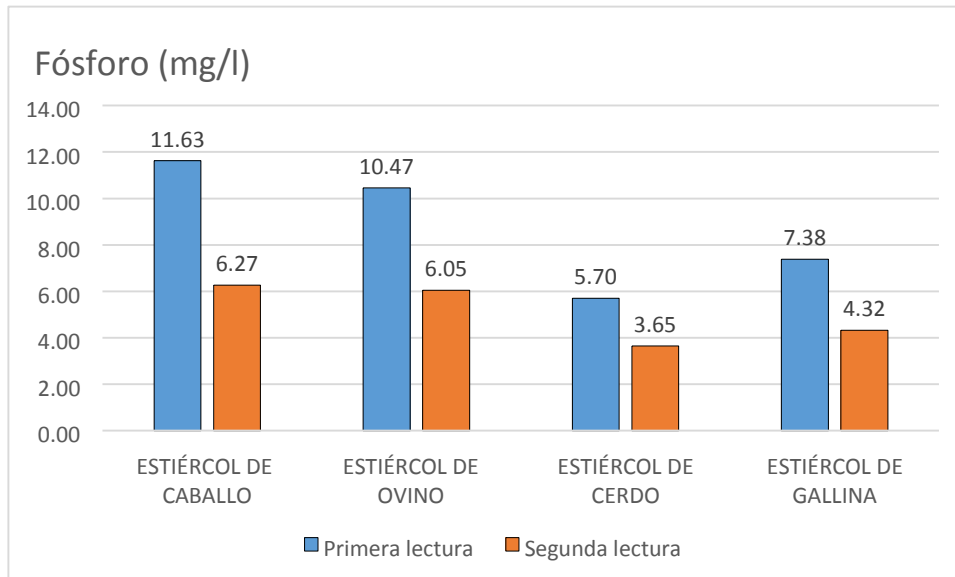


Figura 13. Resultados de Fósforo de la primera y segunda lectura.

Se encontró diferencia ($p < 0.05$) entre los sustratos con valores del Fósforo. El valor más alto con respecto a media con unidades de mg/l fue al estiércol de Equino (tratamiento A) con un valor de 11.63 mg/l, seguido por el estiércol de Ovino (tratamiento B) con una media de 10.47 mg/l, enseguida por el estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media de 7.38 mg/l y por último, el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con 5.70mg/l como media.

Para la segunda lectura tenemos igualmente significancia estadística con respecto a las medias ($p < 0.05$). El estiércol de caballo (tratamiento A) presentó una media estadísticamente más alta con un valor de 6.27 mg/l, después está el estiércol de Ovino (tratamiento B) con una media de 6.05 mg/l, enseguida el estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media de 4.32 mg/l, y enseguida el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con una

media de 3.65 siendo la más significativamente diferente con respecto a los demás tratamientos y por su valor más bajo de su media. El rango que obtuvo Mejía (2017) fue de 7 mg/l a 2.5 mg/l por lo que todos los sustratos estuvieron dentro de ese rango reportado. En los resultados de Reyes et al (2017) obtuvieron en su media más alta 9 mg/l, por lo que nuestros resultados estuvieron por debajo de sus medias.

El alto contenido de fósforo encontrado en el producto final concuerda con lo informado por otros autores, quienes concluyen que las lombrices ingieren con la materia orgánica grandes cantidades de fósforo, la que digerida por el intestino y acentuada por la enorme actividad microbiana, lo excretado contiene un alto contenido de Fósforo.

5.3 Resultados de Potasio de la primera y segunda lectura

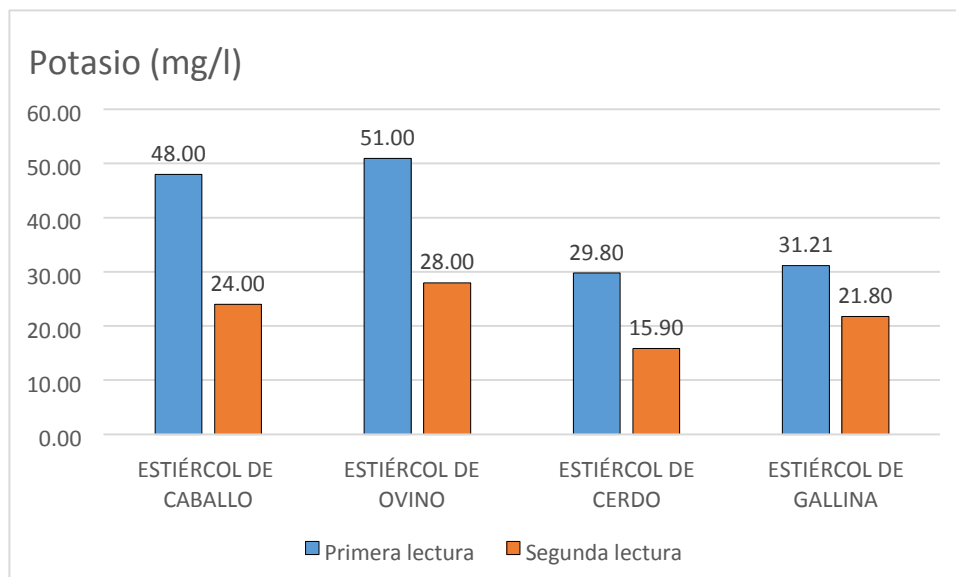


Figura 14. Resultados de Potasio de primera y segunda lectura.

En la primera lectura de potasio se encontró significancia estadística ($p < 0.05$) entre los valores de los tratamientos. Con respecto a las medias y en unidades de mg/l, el estiércol de Ovino (tratamiento B) presenta la media más alta con un valor de 51.00 mg/l y con una significancia mayor con respecto a los demás tratamientos, el estiércol de Caballo (tratamiento A) con una media de 48 mg/l, seguido está el estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media de 31.21 mg/l, y por último está el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con un valor de 29.80 mg/l y el más alejado estadísticamente de los demás tratamientos.

Para la segunda lectura de Potasio igualmente presentó significancia estadística ($p < 0.05$) entre los tratamientos. La mayor concentración de Potasio con respecto a sus medias es el estiércol de Ovino (tratamiento B) con un valor de 28 mg/l, enseguida el estiércol de Caballo (tratamiento A) con una media de 24.00 mg/l, después del estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media de 21.80 mg/l y al final, el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con una media de 15.90 mg/l. Según Mejía (2017) en su vermicomposta obtuvo un rango de 4.40 mg/l y 7.70 mg/l, quedando fuera de ese rango nuestros cuatro tratamientos. Para el caso del potasio, los cuatro tratamientos disminuyeron sus valores, esto puede deberse a que el potasio se encuentra en altas concentraciones en los restos vegetales y no tanto en el estiércol, y ya que el potasio se considera uno de los mayores contribuyentes a los contenidos de sales al disminuir su valor también disminuyó el valor de la Conductividad Eléctrica o viceversa, lo cual concuerda con lo encontrado en este ensayo, ya que potenciales pérdidas están asociadas a los procesos de lixiviación. Por otra parte, debemos considerar también la asimilación por parte de las lombrices ya que en todos

los tratamientos hubo aumento de lombrices y la vermicompost se presentó un descenso de potasio.

5.4 Resultados de pH de la primera y segunda lectura

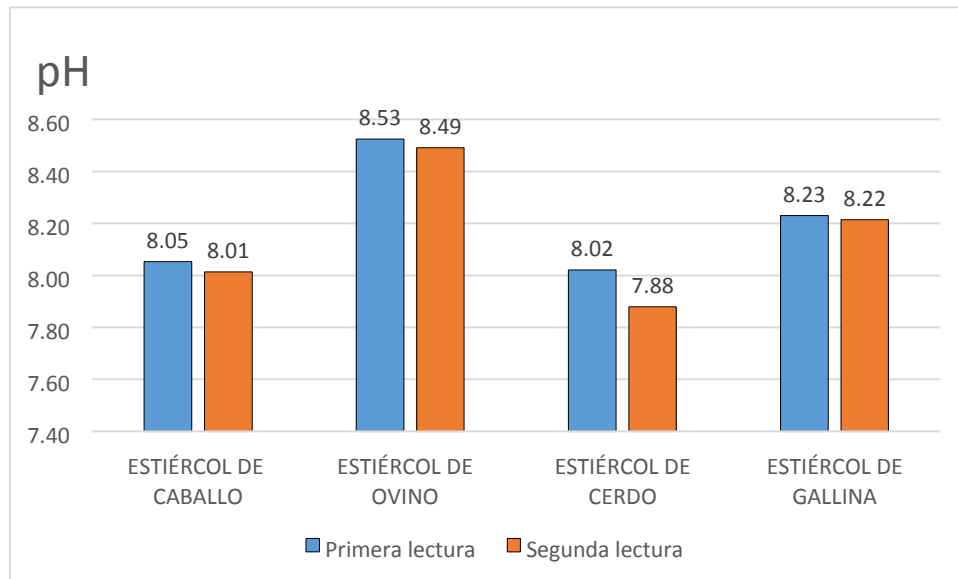


Figura 15. Resultados de pH de la primera y segunda lectura.

El pH en su primera lectura tuvo significancia estadística ($p < 0.05$) entre los tratamientos. El estiércol de Ovino (tratamiento B) tuvo la mayor media con pH 8.53 y el estiércol de Gallina (tratamiento D) con 8.23 de pH, el estiércol de Caballo (tratamiento A) con un pH de 8.05 y, por último el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con un pH de 8.02 en su media.

Para la segunda lectura de pH igualmente presentó significancia estadística ($p < 0.05$) entre los tratamientos. En la segunda lectura de pH, la media que fue superior fue la del estiércol de Ovino (tratamiento B) con 8.49, por consiguiente el estiércol de Gallina

(tratamiento D) con 8.22, el estiércol de Caballo (tratamiento A) con 8.01 y al final el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con una media de 7.88. Según de Sanzo y Ravera (1999) consideran un pH óptimo de 6.5-7.5, quedando los cuatro tratamientos ligeramente por encima del rango óptimo, por lo tanto es el tratamiento con el estiércol de cerdo el que se acerca al pH esperado con 7.88. Pero según Vidaña et al (2017) en los resultados reportados obtuvieron un pH de entre 8.1 y 8.7 en sus sustratos utilizados que igualmente fueron estiércoles.

A medida que el sustrato va pasando por el tracto digestivo de las lombrices, este pH empieza a cambiar ligeramente. Probablemente el pH del sustrato no es un indicador estabilidad de una vermicomposta, pero determinante para el normal desarrollo de las lombrices dentro del sustrato. Las lombrices son capaces de digerir la mayoría de los desechos orgánicos y por la presencia de las glándulas de Morren, pueden regular un poco el pH del sustrato, y es por eso que los sustratos tienden a llegar al estado neutro. Por otra parte, Capistrán, Aranda y Romero (2004) encontraron que durante la descomposición de la materia orgánica, los cambios químicos que se presentan modifican el pH, y pasan de valores ácidos a alcalinos hasta terminar en valores cercanos al neutro.

5.5 Resultados de Conductividad Eléctrica de la primera y segunda lectura.

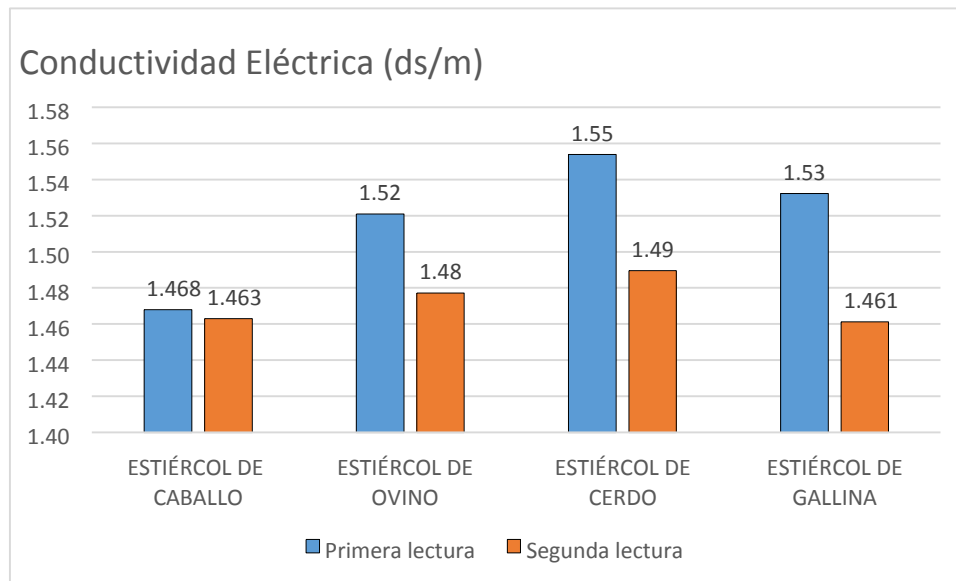


Figura 16. Resultados de Conductividad Eléctrica de la primera y segunda lectura.

En la primera lectura de la conductividad eléctrica hubo significancia estadística ($p < 0.05$) entre los demás tratamientos. Con respecto a las medias, el estiércol de Cerdo (tratamiento C) fue superior con 1.55 dS/m, seguido por el estiércol de Gallina (tratamiento D) con 1.53 dS/m, el estiércol de Ovino (tratamiento B) con 1.52 dS/m y el estiércol de Caballo (tratamiento A) con 1.468 dS/m.

Para la segunda lectura de igual manera hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las medias. Como media más alta está el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con 1.49 dS/m, seguido por el estiércol de Ovino (tratamiento B) con 1.48 dS/m, el estiércol de Caballo (tratamiento A) con 1.46 dS/m, y por ultimo con la media más baja el estiércol de Gallina (tratamiento D) con 1.46 dS/m pero no difiere significativamente con el estiércol

de Caballo (tratamiento A). Mejía (2017), afirma que la conductividad eléctrica ideal es de 2.5 dS/m, para un nivel adecuado es de 3.0 dS/m y si sobrepasa el 8.0 dS/m hay peligro de muerte de las lombrices. Por otra parte, Morales et al (2009) obtuvieron un rango de 7.72 dS/m y 11.24 dS/m en sus sustratos por lo que nuestros resultados fueron más favorables. En este caso el mejor resultado con Conductividad eléctrica fue el tratamiento con estiércol de Gallina con 1.46 dS/m. La elevada salinidad que puede presentarse al inicio puede deberse a las condiciones protegidas en las que se llevó a cabo el proceso de precompostaje. De acuerdo a la literatura, los compuestos producidos en lugares cubiertos muestran niveles más altos de sales, comparativamente con aquellos expuestos a la lluvia en donde puede ocurrir el lavado y la subsiguiente pérdida de lixiviados. El que los cuatro tratamientos disminuyeran sus valores de Conductividad eléctrica aquí reportados puede ser debido al lavado de las sales presentes que percolaron, ya que al tratarse de un sistema abierto parte de los iones han lixiviado fuera de los lechos.

5.6 Resultados de Carbono orgánico de la primera y segunda lectura.

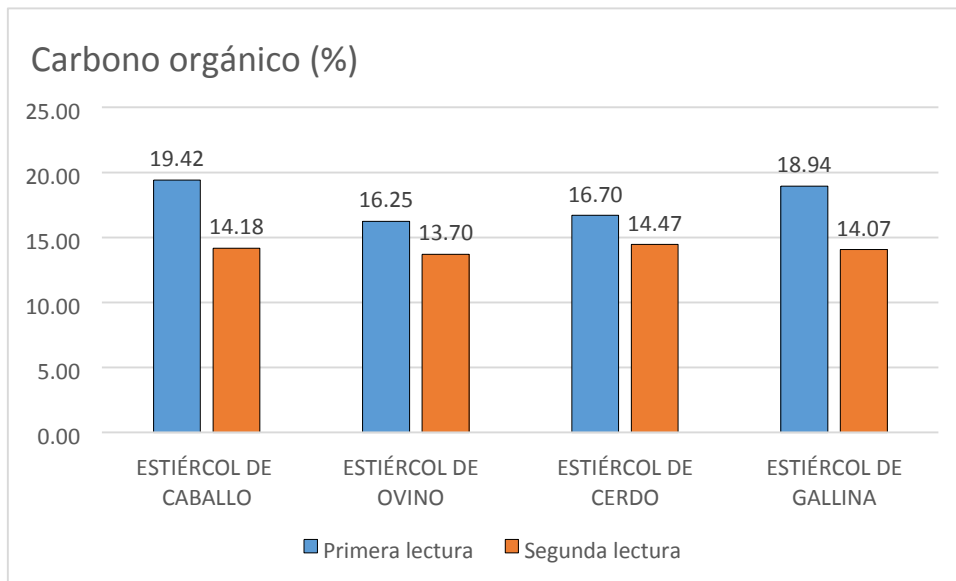


Figura 17. Resultados de Carbono Orgánico de la primera y segunda lectura.

En la primera lectura del Carbono orgánico (C.O.) hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a las medias. En la media más alta encontramos al estiércol de caballo (tratamiento A) con el 19.42% de C.O., seguido por el estiércol de Gallina (tratamiento D) con 18.94% de C.O., el estiércol de Cerdo (tratamiento C) con una media de 16.70% C.O. y al final se encuentra con la media más baja el estiércol de Ovino (tratamiento B) con 16.25% de C.O. Todas las medias son significativamente diferentes.

Para la segunda lectura del Carbono orgánico igualmente hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a las medias. El estiércol de Cerdo (tratamiento C) contó con el valor más alto en su media con 14.47% de C.O., el estiércol de Caballo (tratamiento A) con una media de 14.18% de C.O., seguido por el estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media de 14.07% C.O. y por último el estiércol de Ovino

(tratamiento B) con una media de 13.70% de C.O. En conclusión los cuatro tratamientos son significativamente diferentes. Según Mejía (2017) un Carbono Orgánico óptimo está entre el rango de 8.7 % y 38.8, por lo que los cuatro tratamientos quedan dentro del rango esperado. Para los resultados según Morales et al (2009) fueron de un rango de 13.21% y 14.47% por lo que obtuvimos resultados similares. Se produce un descenso continuado de este parámetro conforme avanza el proceso de precompostaje debido fundamentalmente a su consumo por parte de los microorganismos. Este es un comportamiento muy común y típico en cualquier tipo de compostaje con independencia del material inicial usado, por lo que se puede concluir que cuando este valor se estabiliza, la vermicomposta empieza a ser estable biológicamente hablando.

5.7 Resultados de la relación C/N de la primera y segunda lectura

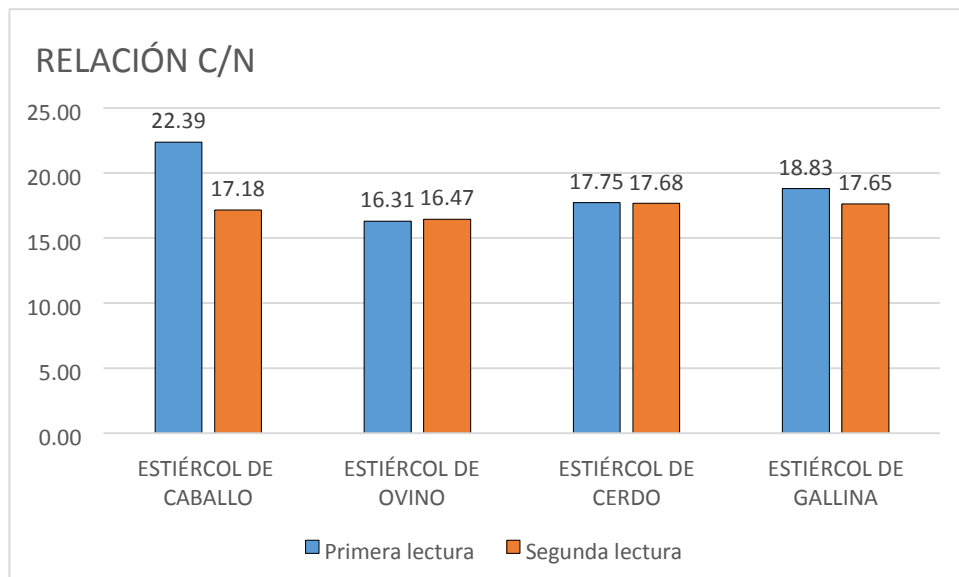


Figura 18. Resultados de la Relación C/N de la primera y segunda lectura.

Para la primera lectura se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los sustratos. En la primera lectura de relación de C/N se encontró significancia entre todas las medias siendo la media más alta el estiércol de Caballo (tratamiento A) con 22.39 C/N, seguido del estiércol de Gallina (tratamiento D) con una media d 18.83 C/N, estiércol de Cerdo (tratamiento C) con 17.75 C/N y por último, el estiércol de Ovino (tratamiento B) con 16.30 C/N. Las cuatro medias son significativamente diferentes entre sí.

En la segunda lectura igualmente se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los sustratos. En el mayor de las medias se encuentra el estiércol de Cerdo (Tratamiento C) con 17.68 C/N, el estiércol de Gallina (Tratamiento D) con 17.65 C/N, el estiércol de Caballo (Tratamiento A) con 17.18 C/N, y con la media más baja, el estiércol de Ovino (Tratamiento B) con 16.47 C/N. Igualmente las cuatro medias son significativamente diferentes entre sí.

En el rango requerido por Mejía (2017) se encuentra entre 9 y 13 C/N por lo que los cuatro sustratos quedan fuera del rango esperado pero quedan dentro el rango reportado de Vidaña et al (2017) que están entre 15.9 y 35.43 C/N. De igual manera tenemos los resultados reportados por Morales et al (2009) obteniendo un rango de 7.97 y 13.24 C/N quedando nuestros resultados por arriba de ellos de igual manera.

5.8 Resultados del Conteo semanal de lombrices

Se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los sustratos sobre el rendimiento en número de lombrices. El estiércol de caballo fue mayor de los demás sustratos con una media de 136.76 lombrices, seguido del estiércol de Ovino con una media de 110.52 lombrices y el estiércol de cerdo con 113.09 lombrices, aunque estadísticamente no son diferentes, y por último, la media de estiércol de gallina con 82.57 lombrices.

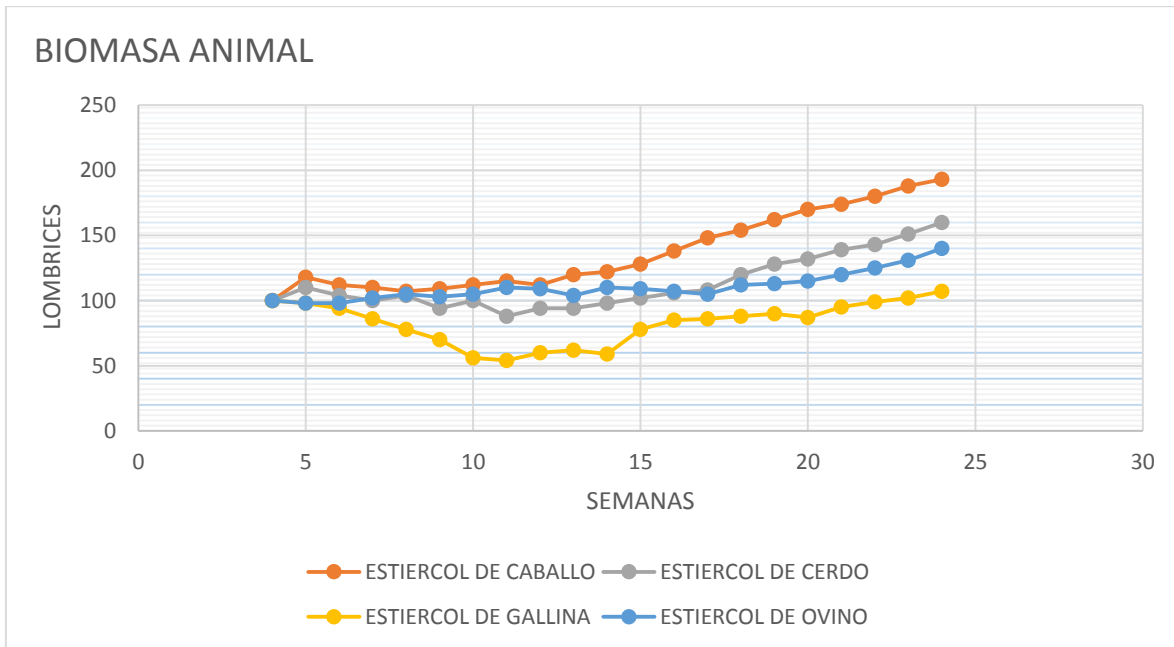


Figura 19. Resultados de la fluctuación de biomasa animal de lombrices en cada semana.

En los resultado reportados por Vidaña et al (2017) igualmente obtuvo un mejor resultado el estiércol de caballo en biomasa animal de lombrices. De la misma manera Morales et al (2009) obtuvo mejores resultados con un sustrato de caballo a diferencia de otros estiércoles. Con el conteo de lombrices el mejor fue el sustrato de caballo habiendo diferencia significativa entre los tratamientos, esta diferencia se debe a que la precomposta

elaborada con sustrato de caballo tiene una buena relación C/N, además los sustratos de ovino y gallina presentaron valores más altos de pH que afectan considerablemente el número de lombrices. Una forma de mejorar esta precomposta es utilizar estiércoles viejos de cuatro a cinco años, que ya se realice el lixiviado de las sales, también el aumentar la relación C/N nos ayuda a mejorar las precompostas y a su vez el desarrollo de la lombriz.

VI. CONCLUSIONES

La vermicomposta a base de ovino resultó estadísticamente tener la mayor fuente de nitrógeno con 4.16 mg/l y con un mayor valor de Potasio con un valor de 28 mg/l.

El sustrato con estiércol de caballo contó con significancia estadística y así mismo los mejores valores de Fósforo con 6.27 mg/l y con mayor cantidad de biomasa de lombrices finalizando con 136.7 lombrices en comparación a los demás sustratos.

El sustrato con estiércol de gallina tuvo mejores resultados con la conductividad eléctrica con 1.46 dS/m aunque no difiere significativamente con el estiércol de Caballo con 1.46 dS/m

Para el estiércol de cerdo obtuvo significancia estadística en su pH que casi logró llegar a neutro con 7.88, y de igual manera obtuvo el mayor rango de carbono orgánico con el 14.47% presente.

Este trabajo permite concluir que, tanto el crecimiento y desarrollo exponencial, como la reproducción de *Eisenia foetida*, se ven favorecidos por densidades poblacionales bajas iniciales, situación que se explica principalmente por la abundancia de alimento que permite altas tasas de ganancia de peso individual, de ganancia en longitud individual y del diámetro del clitelo de los anélidos. De esta manera, al encontrarse los anélidos en buenas condiciones de desarrollo se favorecen los parámetros reproductivos.

Todos las vermicompostas cuentan con un buen resultado de cada parámetro, y podrían ser utilizadas de acuerdo a las necesidades de los cultivos agrícolas en donde se quisiera utilizar la vermicomposta, dependiendo de los requerimientos nutricionales del cultivo específico.

Y finalmente, otra conclusión igualmente importante es que se pudo observar que las lombrices se pueden reproducir y generar buena calidad de vermicomposta con cualquier sustrato (excretas) de los ya utilizados anteriormente.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Agrobit, (2021). *Anatomía y Fisiología de las lombrices*. Obtenido de <https://www.agrobit.com>.

Mejía Araya, P. (2017). Manual de lombricultura. *Agroflor lombricultura. Volumen (4)*. 2-51.

Capistrán, F., Aranda, E., y Romero , J. C. (2004). Manual de reciclaje, composta y lombricompostaje. *Instituto de Ecología A.C., volumen (2)*, 127-139.

Castillo, A E., Vásquez, S., Subosky, M.J., Rodríguez, S.C., y Sogary, N. (1999) Disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos abonados con lombricompostaje. *Información Tecnológica*. 179-182.

Castro Beltrán, A. (2014). Evaluación de la producción de lombricompostos a partir tres sustratos y uso de la lombriz como fuente de alimento para peces en cautiverio. *Centro de Educación a Distancia*, 7-62.

Chapman, H. D., y Pratt, P. F. (1973). Manual de análisis para suelos, aguas y plantas. *Intagri*, 195.

- Corlay Ch. L., Ferrera C. R., Etcheves B. J. D., Echegaray A. A., y Santizo R. J. A. (1999). Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. *Agrociencia volumen (33)*, 375-380.
- De Sanzo, C. A., y Ravera, A. R. (1999). Cómo criar lombrices rojas californianas. *Programa de autosuficiencia regional*, 5-42.
- Díaz, A. (2021). *Lombrices californianas*. Obtenido de <https://www.lombricescalifornianas.cl/lombrices-californianas.html>
- Díaz, E. (2002). Guía de lombricultura. *Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior*, 5-55.
- Domínguez, J., Aira, M., y Gómez B. M. (2009). *El papel de las lombrices de tierra en la Ecosistemas, volumen (2)*, 20-31.
- Durán, G.B. (1995). Efecto de la incorporación de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) y estiércol de bovino en el suelo sobre la producción de materia seca de espinaca (*Spinacia oleracea* L.). *Agroecología*, 65-70.
- Farías Camero, D. M., Ballesteros, M. I., & Bendeck, M. (1999). Variación de parámetros físicoquímicos durante un proceso de compostaje. *Revista Colombiana de química*, 75-85.
- Guadarrama R. O. y Taboada S. M. (2004). La Lombricultura, una Propuesta al Medio Rural. *Memorias del Primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos*, 2-35

- Kale, R.D., Mallesh, B.C., Bano, K. y Bagyaraj, D.J. (1992). Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. *Soil Biol. Biochem*, 1317-1320.
- Martinez Cerdas, C. (2016). Lombricultura. *Sistema de Agronegocios de Traspatio*, 2-7.
- Martínez, M.M. (2008). Evaluación de la eficacia de cuatro dietas alimenticias sobre el crecimiento, desarrollo y producción de abono de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). *Recursos naturales y medio ambiente* , 67-80.
- Morales Munguía, J., Fernández Ramírez, M. V., Montiel Cota, A., y Peralta Beltrán, B. C. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de la lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotecnia*, 19-25.
- Moreno, A., (2005) Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies vegetales. *Revista Agraria, volumen (2)*, 15-23.
- Neuhauser, E. F., R. C. Loehr y M. R. Malecki (1988). *The potential of earthworms for managing sewage sludge, volumen (16)*, 9-20.
- Pedrero Alegría, H., Zuart Macías, J. L., y Ramírez Martínez, A. (2016). Manual de lombricultura. *Enlace innovación y progreso*, 1-10.

- Reyes Pérez, J. J., Luna Murillo, R. A., Murillo Amador, B., Nieto Garibay, A., Hernández Montiel, L. G., Rueda Puente, E. O., & Preciado Rangel, P. (2017). Uso de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el Crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia, volumen* (42), 610-615.
- Romero Romano, C. O., Ocampo Mendoza, J., Sandoval Castro, E., y Tobar Reyes, J. R. (2018). Evaluación de sustratos para la producción de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*). *Centro agrícola, volumen* (45), 68-73.
- Sierra, L.F. (2009). Evaluación de la lombriz *Eisenia foetida* en cuatro sustratos orgánicos en el Centro, Tabasco. *Instituto Tecnológico de la zona olmeca, Villa Ocuilzapotlan*.
- Solleiro, J. L., del Valle, M. D., y Sánchez, I. L. (1993). La innovación tecnológica en la agricultura mexicana. *Comercio exterior, volumen* (43), 359-369.
- Suárez, J. F., y Salazar, D. M. (2010). Evaluación de la reproducción y desarrollo de la lombriz. *Unidad de ciencia y tecnología*, 16 - 19.
- Sullcata, C.R (2014). Desarrollo poblacional de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en relación a sustratos a base de estiércol y rastrojo de cebada. *Ingeniería Agronómica*, 26-27.

Vidaña Martínez, S., Hernández López, M., y Muro Jiménez, A. (2017). Evaluación de tres diferentes sustratos para el desarrollo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Revista ciencia, ingeniería y desarrollo tec Lerdo*, volumen (3), 147-150.