



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Producción Agropecuaria Sustentable

Caracterización físico-química y comparación abonos orgánicos producidos a partir de estiércol por medio de lombricultura en Concá, Arroyo Seco, Querétaro

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciada en Producción Agropecuaria Sustentable

Presenta:

Laura Elena Rubio Rodríguez

Dirigido por:

M en C. Javier Alejandro Obregón Zúñiga

Querétaro

Mayo 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Caracterización físico-química y comparación abonos
orgánicos producidos a partir de estiércol por medio
de lombricultura en Concá, Arroyo Seco, Querétaro

por

Laura Elena Rubio Rodríguez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: CNLIN-265992



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Producción Agropecuaria Sustentable

Caracterización físico-química y comparación abonos orgánicos producidos a partir de estiércol por medio de lombricultura en Concá, Arroyo Seco, Querétaro

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciada en Producción Agropecuaria Sustentable

Presenta:

Laura Elena Rubio Rodríguez

Dirigido por:

M en C. Javier Alejandro Obregón Zúñiga

M en C. Javier Alejandro Obregón Zúñiga

Director

Firma

M en C. Sara Solís Valdez

Sinodal

Firma

M en C. Judith Gabriela Luna Zúñiga

Sinodal

Firma

M en C. Iván Gómez Sánchez

Sinodal

Firma

Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón

Sinodal

Firma

Querétaro

Mayo 2023

RESUMEN

Los abonos orgánicos en la agricultura favorecen el mejoramiento de los suelos para mayor filtración del agua, enriquecimiento de nutrientes, regenerar su estructura y su mayor rendimiento de producción en los cultivos. La lombricultura implementa como materia prima los desechos orgánicos, estiércol de especies ganaderas y la lombriz *Eisenia foetida*. La presente investigación tuvo como objetivos: 1) Producir abonos orgánicos mediante la lombricultura 2) Caracterizar fisicoquímicamente el abono producido con la técnica de lombricultura. El estudio se realizó en el módulo de Conservación y Manejo de Recursos Naturales, UAQ, Campus Conca durante primavera y verano del 2021. Se establecieron tres tratamientos con sustrato base de estiércol de ganado bovino, equino y ovino, y un tratamiento testigo a base de tierra. La elaboración de los abonos por medio de la lombricultura y los análisis fisicoquímicos se realizaron con la metodología propuesta por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-200. Para el análisis estadístico se implementó el programa STATGRAPHICS Centurion XVI.I. Los factores físicos en el proceso de lombricompostaje fueron los adecuados para el desarrollo de *E. foetida*, la temperatura promedio fue de 26.8°C, el pH de 6.24, lo que indica que cumple con los parámetros de acidez mientras que la humedad se mantuvo constante con más del 30%. Las características físicas del abono de lombriz ya procesado dieron como resultado un pH ligeramente alcalino en todos los tratamientos con 7.84 a 8.35, por otra parte, el tratamiento de vaca resultó ser el que se encontró mayor porcentaje de carbono orgánico y materia orgánica, por último, la humedad en el abono de lombriz fue mayor en el tratamiento de borrego. Químicamente todos los abonos registraron diversos elementos químicos entre los que destacan K, S, Na, B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn y P, siendo el abono con base de estiércol de vaca el que reúne las mejores características y composición química. Los abonos orgánicos producidos por medio de la lombricomposta presentan las características físicas y químicas para la aplicación en la agricultura orgánica, siendo estos una buena opción para la aplicación por parte de los productores agrícolas.

Palabras clave: *Eisenia foetida*, abono orgánico, lombricomposta, estiércol.

ABSTRACT

Organic fertilizers support soil improvement by permitting greater water filtration, nutrient enrichment, soil composition regeneration and higher crop yield in agriculture production. Vermiculture implements as primary source organic raw material waste, manure of different livestock species and *Eisenia Foetida* earthworms. The objective of this investigations was on one hand, the production of organic fertilizers through vermiculture and on the other hand the physiochemical characterization of produced fertilizer using the vermiculture technique. Therefore, this investigation was realized in the Conservation and Management of Natural Resources Modul Area inside the Autonomous University of Queretaro Campus Conca during a timeframe between spring and summer 2021, implementing three experimental substrate-based treatments of bovine, equine and ovine manure, and a soil-based control group. The elaboration of the fertilizers was realized by standards for vermiculture production, the required physiochemical analysis was achieved by using the proposed methodology of the MEXICAN OFFICIAL STANDARD NOM-021-SEMARNAT-200 and the statistical analysis of the results were processed with the use of STATGRAPHICS Centurion XVI.I. Physical factors in the process of vermicomposting were suitable for the development of *E. foetida* with an average temperature of 26.8°C and a pH of 6.24, fulfilling the acid parameters indicators, while humidity remained constant by more than 30%. The physical characteristics of the already processed worm fertilizer in all experimental treatments resulted with a slightly alkaline pH concentration between 7.84 and 8.35, on one hand. On the other hand, the cow treatment resulted to be containing the highest percentage of organic carbon and organic matter. The final difference between the treatments was that the moisture in the compost with earthworms was higher than the moisture in the sheep treatment. The chemical characteristics of all fertilizers documented included a variety of chemical elements among them K, S, Na, B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn and P, being the cow based fertilizer the one that projects the best chemical characteristics and composition. Furthermore, organic fertilizers produced through vermicompost methods present the physical and chemical characteristics for application in organic agriculture and being a favorable option for farmers.

Keywords: *Eisenia foetida*, organic fertilizer, vermicompost, manure

DEDICATORIA

Con cariño agradezco a Dios por darme salud, confianza y sabiduría para realizar este proyecto en mi formación profesional.

Dedico este trabajo en especial a mis padres Ma. Dolores Minerva Rodríguez Carreón y Rufino Rubio Martínez, por su apoyo, tiempo, confianza, cariño y consejos que me brindaron en el transcurso de mi estancia en la Licenciatura- por estar siempre pendientes y por el gran esfuerzo que hicieron para que esto fuera posible.

Agradezco a mis hermanas y sobrinos por brindarme su apoyo, consejos para seguir siempre adelante con mis estudios y por estar de forma incondicional en cada momento.

A mis amigos que me apoyaron con sugerencias, consejos y apoyo emocional durante esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro, a la Facultad de Ciencias Naturales especialmente a la Licenciatura en Producción Agropecuaria Sustentable por permitirme formar parte de su comunidad estudiantil.

A los maestros de la Licenciatura en Producción Agropecuaria sustentable por contribuir en mi formación profesional.

Al M en C. Javier Alejandro Obregón Zúñiga por brindarme las herramientas necesarias para lograr esta investigación y contribuir en el desarrollo de mi formación académica. A si como estar al pendiente y los consejos que me brindo para lograr un buen desempeño en la Licenciatura.

A mis asesores

M en C. Sara Solís Valdez, M en C. Judith Gabriela Luna Zúñiga, M en C. Iván Gómez Sánchez y Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón. Por compartirme sus conocimientos y tiempo para llevar a cabo este trabajo.

A los señores Guadalupe Guevara, Bernabé Castillo, a las señoras Romana Medellín, Gloria García y Reyna García, por brindarme su apoyo y donarme la materia prima de residuos para poder realizar mis experimentos de tesis.

A todas las personas que me apoyaron a lo largo de este camino para seguir adelante con mi sueño de formarme profesionalmente.

Al Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría (FOPER) por el financiamiento y hacer posible la compra de materiales y equipos para realizar el trabajo de campo

A la Lic. en Producción Agropecuaria Sustentable y a la Facultad de Ciencias Naturales por el apoyo para los análisis fisicoquímicos.

Al Dr. Mark Schoor por la colaboración de la traducción del resumen.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
ÍNDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
1. INTRODUCCIÓN	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. ANTECEDENTES	16
3.1 ¿Qué es la lombricultura?	16
3.1.1 Historia de la lombricultura	17
3.1.2 Repercusión de la lombricultura en México	18
3.2 Particularidades de <i>Eisenia foetida</i>	19
3.2.1 Alcance de <i>E. foetida</i> en la agricultura orgánica.....	19
3.2.2 Descripción de <i>E. foetida</i>	21
3.2.3 Clasificación Zoológica	21
3.2.4 Peculiaridades morfológicas	22
3.2.5 Fisiología de <i>E. foetida</i>	23
3.2.6 Ciclo reproductivo	26
3.2.7 Alimentación	28
3.3 Sustratos base para la implementación de lombricultura con <i>E. foetida</i> .	28
3.4 Parámetros generales requeridos de <i>E. foetida</i>	30
3.4.1 Temperatura	30
3.4.2 Humedad	30
3.4.3 PH.....	30
3.5 Variables que afectan la producción y reproducción de <i>E. foetida</i>	31
3.5.1 Ácaros (<i>Astigmata</i>)	31
3.5.2 Mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>).....	31
3.5.3 Hormigas (<i>Formicidae</i>)	31
3.5.4 Planarias (<i>Planariidae</i>).....	31
3.5.5 Aves.....	31

3.5.6 Topos.....	32
3.5.7 Ratones	32
3.5.8 Gallinas ciegas (<i>Scarabaeidae</i>)	32
3.5.9 Sapos.....	32
3.5.10 Serpientes.....	32
3.5.11 Tipo de manejo en la producción	32
3.6 Relevancia de los abonos orgánicos.....	33
3.7 Empleo del abono producido con <i>E. foetida</i>	34
3.8 Estudios de caso en aplicación de abonos orgánicos en cultivos	37
4. HIPOTESIS	40
5. OBJETIVOS.....	41
• Objetivo general	41
• Objetivos específicos.....	41
6. METODOLOGÍA	42
6.1 Área de estudio	42
6.2 Diseño experimental	42
6.3 Producción de abonos orgánicos mediante la lombricultura	42
6.4 Análisis fisicoquímico	49
6.6 Análisis estadístico.....	52
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
7.1 Caracterización del humus de lombriz	53
7.2 Caracterización fisicoquímica de abono de lombriz	61
7.2.1 Determinación química de nutrientes (aniones y cationes)	62
8. CONCLUSIÓN	65
9. REFERENCIAS.....	66

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. INDIVIDUOS ADULTOS DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA).....	21
FIGURA 2. MORFOLOGÍA DE ANÉLIDOS CLASE OLIGOQUETO. A. MORFOLOGÍA INTERNA DE LA PARTE ANTERIOR DE LA LOMBRIZ. B. MORFOLOGÍA EXTERNA VISTA LATERAL DE LA LOMBRIZ. D. CARACTERÍSTICAS DE UNA PARTE DE LA EPIDERMIS DE LA LOMBRIZ CON CÉLULAS SENSORIALES, GLANDULARES Y EPITELIALES.	23
FIGURA 3. DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES QUE INTEGRAN EL SISTEMA DIGESTIVO DE UN OLIGOQUETO.....	24
FIGURA 4. NEFRIDIO DE ANÉLIDOS CLASE OLIGOQUETO QUE CONFORMA EL SISTEMA EXCRETOR MEDIANTE EL CUAL LOS DESECHOS ENTRAN POR EL NEFROSTOMA Y SE EVACUAN EN EL NEFRIDIOPRO.....	25
FIGURA 5. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA NERVIOSO DE ANÉLIDOS CLASE OLIGOQUETO.	26
FIGURA 6. DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE REPRODUCCIÓN DE E. FOETIDA.	27
FIGURA 7. HUMUS LIQUIDO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.	34
FIGURA 8. HUMUS FINO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.....	35
FIGURA 9. HUMUS GRUESO OBTENIDO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.....	35
FIGURA 10. ESTIÉRCOL DE BOVINO COLECTADO COMO SUSTRATO PARA SU PROCESAMIENTO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.	43
FIGURA 11. ESTIÉRCOL DE OVINO COLECTADO COMO SUSTRATO PARA SU PROCESAMIENTO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.	43
FIGURA 12. ESTIÉRCOL DE EQUINO COLECTADO COMO SUSTRATO PARA SU PROCESAMIENTO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.	44
FIGURA 13. PRECOMPOSTEO DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y ESTIÉRCOL PARA SU PROCESAMIENTO MEDIANTE EL PROCESO DE LOMBRICULTURA.....	44
FIGURA 14. PRUEBA DE SUPERVIVENCIA DE E. FOETIDA EN EL SUSTRATO PRECOMPOSTEADO.	45
FIGURA 15. INSTALACIÓN DE LOS ENSAYOS EN LA UNIDAD DE BIOINSUMOS.	46
FIGURA 16. MULTIPARAMÉTRICO PARA MEDIR TEMPERATURA, PH Y HUMEDAD DEL SUELO.....	47
FIGURA 17. PROCESAMIENTO DE CRIBAR PARA LA OBTENCIÓN DE ABONO SÓLIDO.....	48
FIGURA 18. ABONOS RESULTANTES DE LA COSECHA DE LA ETAPA PRIMAVERA-VERANO.	49
FIGURA 19. ABONOS RESULTANTES DE LA COSECHA DE LA ETAPA VERANO-OTOÑO.....	49
FIGURA 20 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LAS ETAPAS (PR) PRIMAVERA Y (VER) VERANO, NO EXISTE DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA ($P<0.05$), FORMÁNDOSE EL GRUPO A.	54
FIGURA 21 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VACA) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LA ETAPA DE (PR) PRIMAVERA, NO EXISTE DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA ($P<0.05$), FORMÁNDOSE EL GRUPO A.....	54
FIGURA 22 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LA ETAPA DE (VER) VERANO, NO EXISTE DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA ($P<0.05$), FORMÁNDOSE EL GRUPO A.....	55
FIGURA 23 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DEL PH DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LAS ETAPAS (P) PRIMAVERA Y (VE) VERANO, SI EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ($P<0.05$) FORMÁNDOSE LOS GRUPOS A Y B.....	56
FIGURA 24 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DEL PH DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LA ETAPA (PR) PRIMAVERA, SI EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ($P<0.05$) FORMÁNDOSE LOS GRUPOS A Y B.....	57
FIGURA 25 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DEL PH DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB)	

TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LA ETAPA (VER) VERANO, NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$), FORMÁNDOSE EL GRUPO A.	57
FIGURA 26 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DE LA ESCALA DE HUMEDAD DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LAS ETAPAS (PR) PRIMAVERA Y (VER) VERANO, SI EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$) FORMÁNDOSE LOS GRUPOS A, B, C. ESCALA: (MUY SECO $< 5\%$ =1), (SECO 5-10% =2), (NORMAL 10-20% =3), (HÚMEDO 20-30% =4) Y (MUY HÚMEDO $> 30\%$ =5).	58
FIGURA 27 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DE LA HUMEDAD DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LA ETAPA (PR) PRIMAVERA, NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$). ESCALA: (MUY SECO $< 5\%$ =1), (SECO 5-10% =2), (NORMAL 10-20% =3), (HÚMEDO 20-30% =4) Y (MUY HÚMEDO $> 30\%$ =5), FORMÁNDOSE EL GRUPO A.	59
FIGURA 28 EN LA GRÁFICA SE MUESTRA EL PROMEDIO DE LA HUMEDAD DE TRES REPETICIONES CON SU DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN EL (TES) TESTIGO DE TIERRA, (VAC) TRATAMIENTO 1 DE BOVINO, (CAB) TRATAMIENTO 2 DE EQUINO, (BOR) TRATAMIENTO 3 DE OVINO, EN LA ETAPA (VER) VERANO, NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ($P < 0.05$). ESCALA: (MUY SECO $< 5\%$ =1), (SECO 5-10% =2), (NORMAL 10-20% =3), (HÚMEDO 20-30% =4) Y (MUY HÚMEDO $> 30\%$ =5), FORMÁNDOSE EL GRUPO A.	60

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 ESPECIES DE LOMBRICES UTILIZADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS, DE ACUERDO CON BRITO-VEGA Y ESPINOSA-VICTORIA (2009)	16
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS NUTRIMENTALES DE HUMUS PRODUCIDO POR MEDIO DE LA LOMBRICULTURA.....	20
TABLA 3 PORCENTAJE DE CELULOSA QUE CONTIENE EL ESTIÉRCOL DE CORRAL DE DIFERENTES ESPECIES GANADERAS.	28
TABLA 4 PROPORCIONES PARA LA APLICACIÓN DE HUMUS PRODUCIDO CON E. FOETIDA EN DIFERENTES CULTIVOS.	36
TABLA 5 ESCALAS DE PORCENTAJES DE HUMEDAD DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS DEL EQUIPO UTILIZADO.	46
TABLA 6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ABONOS PRODUCIDOS POR LOMBRICULTURA.....	64
TABLA 7 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ABONOS PRODUCIDOS POR LOMBRICULTURA	64

LISTA DE ABREVIATURAS

(A.C.)	Antes de cristo
(B)	Boro
(Bor)	Tratamiento 3 de ovino
(Ca)	Calcio
(Cab)	Tratamiento 2 de equino
(CDI)	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
(CIDAF)	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Materia Agrícola, Pecuaria, Acuícola y Forestal
(Cl)	Cloruros
(cm)	Centímetros
(CO ₂)	Dióxido de carbono
(Cu)	Cobre
(EA)	Estiércoles animales
(Fe)	Hierro
(gr)	Gramos
(K)	Potasio
(kg)	Kilogramos
(m)	Metros
(m ²)	Metros cuadrados
(Mg)	Magnesio
(mm)	Milímetros
(Mn)	Manganeso
(MO)	Materia orgánica
(Mo)	Molibdeno
(N)	Nitrógeno
(Na)	Sodio
(Ni)	Níquel
(N-NO ₃)	Nitratos
(NO ₂ -)	Dióxido de nitrógeno
(O)	Oxígeno

(P)	Fósforo
(PR)	Primavera
(POPMI)	Programa Organización Productiva para Mujeres Indígenas
(PO43)	Fosfatos
(R.O)	Residuos orgánicos
(S)	Azufre
(Si)	Silicio
(SO42-)	Sulfato
(Tes)	Testigo de tierra
(t/ha)	Toneladas por hectárea
(UAQ)	Universidad Autónoma de Querétaro
(Vac)	Tratamiento 1 de bovino
(Ver)	Verano
(Zn)	Zinc
(°C)	Grados centígrados
(% C org)	Porcentaje de carbono orgánico
(%W)	Contenido de humedad

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la producción de alimentos naturales para el consumo humano y animal, se lleva a cabo a través de la agricultura convencional a gran escala comparada con la agricultura orgánica, la cual fomenta la reutilización de materiales naturales para contribuir en la regeneración del suelo y actividad biológica de los microorganismos (Ayma, 2020).

El 85% de la agricultura utiliza una alta gama de agroquímicos para distintas aplicaciones, como son el control de plagas, fertilizantes, repelentes, herbicidas, funguicidas, entre otros. A nivel global, los agroquímicos afectan la calidad y fertilidad del suelo, y como consecuencia, hay un alto índice de degradación. Estos efectos perjudiciales se deben a que no existe un manejo adecuado en la implementación de los productos químicos en la agricultura.

Entre otras problemáticas que se presentan destaca la destrucción de ecosistemas naturales, pérdida de cultivos y contaminación del agua (Del Puerto *et al*, 2014 e Izquierdo, 2017). La toxicidad de los productos sintéticos en los seres humanos da como resultado problemas nocivos que repercuten de manera directa en su salud (Wolansky, 2011).

La agricultura orgánica es una estrategia para reducir la aplicación de agroquímicos, utilizando abonos orgánicos como lo es la lombricomposta o humus de lombriz. La cual es el resultado del manejo y cría de lombriz para el aprovechamiento de los residuos orgánicos (R.O), debido a que ayuda en la resistencia de plagas, nematodos y patógenos, generando un mayor desarrollo en el suelo y plantas (Martínez, 2004).

Una manera de contribuir con suelos conservados es la práctica del manejo de residuos orgánicos, que se suministran de manera fresca o se requiere de una transformación para su descomposición en materiales maduros y llevar a cabo la producción de lo que se conoce como abonos orgánicos. Existe gran variedad de fertilizantes orgánicos, entre los más representativos se encuentran el compost, tierras fermentadas, abonos verdes y lombricultura. Este último es eficaz en la agricultura, se sustenta en su calidad, la cual se mide por medio de sus componentes químicos, físicos y microbiológicos. En la lombricomposta, la determinación de sus características nutrimentales depende del tipo de materia orgánica manejada. Teniendo en cuenta la cantidad que se usó, su fase de madurez, proceso de producción y almacenaje (Durán y Henríquez, 2007).

Los abonos orgánicos proporcionan distintos beneficios en el medio ambiente, pero principalmente en el suelo y plantas. Además, funcionan como capa amortiguadora de materia orgánica y están compuestos químicamente por niveles elevados de nitrógeno (N) y minerales que son altamente requeridos por las plantas. Por lo que, los valores de pH son favorables, mientras que las cantidades de nutrientes como potasio (K), calcio (Ca), y magnesio (Mg) aumentan considerablemente de acuerdo a las proporciones que se manejen de abono. Debido a las características físicas que presentan los abonos, estos

ayudan en tener una mayor filtración de humedad y contribuyen en la estructura del sustrato proporcionando, además, mejor resistencia a plagas o enfermedades (Ramos y Terry, 2014).

2. JUSTIFICACIÓN

Con el manejo de la lombricultura con estiércol ganadero, para su transformación en abono o lombricomposta se disminuyen los precios de producción en la agricultura y proporcionan ayuda en subsanar efectos negativos de fertilidad del suelo, reparando su volumen de retención de agua, lo que beneficia el desarrollo de los cultivos generando mayor producción (Espinoza *et al*, 2009). Históricamente, los estiércoles se han implementado en el ámbito agrícola sin ningún tratamiento o manejo, ya que son materia prima local que es fácil de coleccionar en zonas rurales. El estiércol generalmente se almacena en los traspatios para su empleo en los plantíos, a pesar de los problemas que se pueden provocar al medio ambiente y la salud de las personas si no son tratados (Huerta-Muñoz *et al*, 2019).

En el valle agrícola de Concá, no existen alternativas de fertilización orgánica en la producción, menos aún, que las puedan adoptar los agricultores para disminuir la aplicación de agroquímicos. En algunos casos, con base en su conocimiento empírico utilizan estiércol de su ganado (ovino, bovino y equino) para fertilizar sus tierras. Sin embargo, los productores agrícolas de la zona desconocen la metodología para la producción, aplicación y manejo de fertilizantes orgánicos.

Aunado a lo anterior, existe escasa información científica sobre las características físico-químicas óptimas para ser utilizadas como fertilizantes o remediadores de los abonos en la región. Con relación a la problemática expuesta de esta manera, la investigación presentada proporcionará a los agricultores de la zona de Concá, arroyo Seco, Querétaro, información relacionada con las características físicas y químicas de abonos de bovino, equino y ovino tratados y mejorados con lombricultura, para ser utilizados en sus siembras.

3. ANTECEDENTES

3.1 ¿Qué es la lombricultura?

Dentro de la agricultura orgánica existe un proceso para la obtención de abono denominado lombricultura, el cual se basa en la producción de la lombriz mediante la intervención del hombre en entornos controlados, generando un efecto sustentable. Uno de los componentes más importantes para realizar este proceso es el manejo de lombriz (Tabla 1); por lo tanto, es importante saber el desarrollo, ciclo de reproducción y la zona de ubicación para determinar la especie a emplear (Morales *et al*, 2009).

En el proceso de lombricultura, la lombriz juega un papel muy importante, debido a que es la encargada del procesamiento de los R.O. Por este motivo, existe una diversidad de opciones eficaces de producción sustentable. Cabe mencionar que es una técnica de escaso costo, proporcionando también la implementación de la utilización de la lombriz para la elaboración de diferentes productos de aprovechamiento humano y animal, contando que el producto como abono tiene una diversificación de usos en las producciones agrícolas (Martínez, 2004).

Tabla 1 Especies de lombrices utilizadas para la producción de cultivos, de acuerdo con Brito-Vega y Espinosa-Victoria (2009)

Especies	Categoría	Habitat	Referencias
<i>Diplocardia sp.</i>	Endogenos, Polihumicos	Sistemas de cultivos de cereales (Aguascalientes)	Brito-Vega <i>et al.</i> (2006)
<i>Apocarcetodea caliginosa</i>			
<i>Phoenicodrilus taste</i>	Endogenos, Polihumicos	Sistemas de cultivos de cereales (Guanajuato)	Brito <i>et al.</i> (2006)
<i>Mayadrilus calakmulensis</i>	Endogenos	Huertos familiares (Tabasco)	Huerta <i>et al.</i> (2005)
<i>Dichogaster saliens</i>	Epigeos	Cultivo de mango (Tabasco)	
<i>Balanteodrilus pearsei</i>	Endogenos	Cultivo de maíz y caña de azúcar (Tabasco)	Huerta <i>et al.</i> (2005)
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Endogenos, Polí-mesohumicos	Sistemas de pastoreo con cereales (Veracruz)	García y Frago (2003)
<i>Diplocardia sp.</i>	Endogenos	Cultivo de caña de azúcar (Tamaulipas)	Fragoso (2001)
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Endogenos	Cultivo de maíz, caña de azúcar, platanos, coco y potreros (Veracruz)	
<i>Lodrilus bonampakensis</i>	Endogenos	Cultivo de platanos (Tabasco)	Fragoso (2001)
<i>Amyntas gracilis</i>	Epigeos	Cultivo de platanos (Tamaulipas)	Barois <i>et al.</i> (1993)

Fuente: (Brito-Vega y Espinosa-Victoria, 2009).

La lombricultura se realiza en diferentes etapas, primero se lleva a cabo el procesamiento de los R.O, en el cual interactúan los microorganismos a través de ambientes aeróbicos con el fin de alcanzar una composición homogénea conocida comúnmente como precomposteo. Posteriormente sigue el vermicompostaje o lombricompostaje que se basa en la digestión aeróbica y descomposición de los R.O a través de la lombriz. El humus de lombriz o abono orgánico es considerado el producto final de la lombricultura, y representa

características aptas para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones (Acosta-Durán *et al*, 2013).

Compagnoni L. y Putzolu G, 1995, citado por Cajas, 2009, establecen que la lombricultura es una biotecnología que emplea a la lombriz como elemento principal de dicha actividad y que reutiliza los R.O. Además, es una labor zotécnica que contribuye en el mejoramiento de las prácticas de las actividades agrícolas. A través del tiempo, la lombricultura se ha convertido en una actividad con un nivel alto de crecimiento y desarrollo en distintos países y tiende a ser la forma más breve y segura en aportar beneficios para ayudar en el mejoramiento de suelos. El humus que producen las lombrices contiene nitrógeno, fósforo (P) y potasio en mayores cantidades que otros abonos orgánicos lo que lo diferencia de los demás, también produce bacterias aeróbicas, hongos actinomicetos, vitaminas, fitohormonas y enzimas que ayudan y se correlacionan con los nutrientes de los cultivos teniendo una permanencia considerable.

3.1.1 Historia de la lombricultura

El surgimiento de las lombrices fue hace 700 millones de años en el periodo del precámbrico (4600 - hasta los 542 millones de años), durante los años 384-322 (A.C.) el filósofo Aristóteles declaró que las lombrices ayudan a mejorar la fertilidad del suelo y además los decreto como los intestinos de la tierra (Alas y Alvarenga, 2002).

A partir de la edad antigua egipcia se le atribuía a la lombriz un gran valor cultural, y en la época de mandato de los faraones se estipularon condenas a todo aquel individuo que quisiese lastimarla o saquearla para su expansión fuera del territorio. Y creían que la productividad en el río Nilo se debía a los organismos de esta especie en sus profundidades (Loza, 2000).

En los años 1707-1789 Carlos Von Linneo propicio el surgimiento de la taxonomía moderna en la que categorizo a la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestres*) dentro de los anélidos. Durante la época del año 1881 Charles Darwin identificó que las lombrices elaboran un manto de suelo con sus excretas y escribió un libro en el que explicaba la función de las lombrices en los sistemas edáficos (Loza, 2000).

El proceso de la lombricultura lo empezó a poner en práctica el Dr. Thomas Bonet en el año 1936, su propósito fue ocuparse en la agricultura para colaborar en el mejoramiento y conservación de los suelos con la cooperación de las lombrices (Alas y Alvarenga, 2002). En Norteamérica en 1947, se emprendió el manejo y cría de las lombrices por Hugn Carter, tardando alrededor de 25 años en conseguir expandir su producción a tiendas de pesca y caza, con un total de cosecha anual de 15 millones de cría de lombriz. Esto permito la expansión de la lombricultura en Europa, Asia y América, más adelante en 1991 Righi propicio el uso de *Eisenia foetida Sav* (Pineda, 2006).

Alberto Roth fue la pieza clave en difundir la lombricultura a nivel mundial, se enfocó a lo largo de su vida en producir lombrices de tierra para tener mejores

condiciones de fertilidad en el suelo que utilizaba para sus cultivos. Roth establecía sus producciones de lombriz en cajas de madera, pero además fue maestro agrícola-subtropical y gracias a su desempeño en la ecología recibió el premio de “Mejor conservador del suelo al sur del Río Grande” (Cárdenas, 2005).

En América Latina la lombricultura se empezó a realizar en 1980, destacando en Chile, Perú, Ecuador y Cuba (Delfín, 2007). Posteriormente Andersen en el año 1987 llevo a cabo estudios sobre la ecología de las lombrices en áreas de un suelo arable, y encontró, que la temperatura en estos suelos afecta considerablemente la densidad de individuos del terreno (Loza, 2000). En 1988 se descubrieron nuevos híbridos de *E. foetida* teniendo mejores rendimientos en la producción de humus en comparación con *E. foetida* Sav (Pineda, 2006).

3.1.2 Repercusión de la lombricultura en México

En el año de 1990 se emprende el desarrollo de la lombricultura en México como ocupación económica. La sociedad que inició la producción de lombricultura, se ubicó en el Estado de México y el área que se designaba en el país para su manejo era demasiado limitada, ya que los R.O que se producían en todo el país se generaban en mayores cantidades rebasando la capacidad de residuos que podían transformar (Mazariegos, 2018).

La lombricultura en México tiene una baja utilidad, pero es importante resaltar que tiene diversidad de ventajas en relación con distintos abonos orgánicos. De este modo es catalogada como un proceso eficaz para el procesamiento de residuos vegetales y heces de ganado (bovino, equino y ovino) y como beneficio se obtiene una disminución en los efectos negativos al ambiente, destacando una mayor producción al aire libre. Entre otras ventajas baja el ingreso de materiales y capital económico de producción (Raya, 2010).

En México el impacto y crecimiento de la lombricultura depende de la producción de R.O disponibles, debido a que en el país se realiza la ganadería intensiva la cual se basa en la cría de animales con mayores cuidados de manejo y establecimientos con una tecnología más eficaz que asegura el bienestar animal. Por otro lado, la ganadería extensiva tiene un mayor índice de productores que la llevan a cabo (Izar y Izar, 2014).

Es por ello que, en la lombricultura, el estiércol de las producciones extensivas es el más idóneo, pero es importante mencionar que el que se origina en los sistemas intensivos se puede manejar si se garantiza que no cuenta con hormonas que alteran el desarrollo de las lombrices. El incremento de la práctica de la lombricultura también depende del organismo que usa el producto, es decir; zonas que le determinen un valor agregado y de esta forma exista un ingreso de producción (Izar, J.L. y Izar, J.M., 2014).

La práctica total de la lombricultura en México destina alrededor de 20 hectáreas para su implementación. Para la cual se utiliza como materia prima orgánica principal residuos de caña, cafetalera y zonas lecheras. Por otra parte, las personas que cuentan con proyectos de lombricultura o alternativas sustentables generalmente se inician de manera empírica y con personal poco preparado en

el tema, generando escasa producción llevando consigo a los productores basarse exclusivamente en elaborar abono y mantener baja la reproducción de la cría de lombriz para su venta (Delfín, 2007).

El manejo de los R.O en zonas rurales data desde épocas antiguas, en algunas partes del país a la utilización de R.O no se les da un procesamiento antes de integrarlo a las plantas o al suelo generando la pérdida de nutrientes que contengan y puedan ser benéficos. Por lo tanto, se invitó a poner en práctica la lombricultura y para eso se creó el Programa Organización Productiva para Mujeres Indígenas (POPMI) impartido por medio de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI). Este programa tuvo impacto en el estado de Oaxaca teniendo como objetivo capacitar a las mujeres de Nochixtlán para que aprendieran y pudieran poner en práctica la lombricultura (López-Fuentes *et al*, 2017).

3.2 Particularidades de *Eisenia foetida*

3.2.1 Alcance de *E. foetida* en la agricultura orgánica

La práctica de la agricultura orgánica es una técnica muy eficaz en la preservación de los suelos y además garantiza la sustentabilidad en la producción de los alimentos y cultivos que se generan. También permite que los trabajadores que la realizan tengan mejor seguridad en su salud, debido a que los productos que se aplican no son agroquímicos y se contribuye en la perseverancia de la cultura y trabajo tradicional. En el manejo de la agricultura orgánica se pueden usar elementos que al ponerse en práctica de una manera convencional sin ningún procesamiento pueden ser contaminantes (el estiércol de ganado de corral o residuos de alimentos agrícolas). De esta forma se recomienda la lombricultura con *E. foetida*, ya que es un proceso eficaz para el desarrollo de los productores agrícolas y el medioambiente (Delfín, 2007).

La lombriz tiene un alto potencial en la regeneración de los suelos, en vista de que; contribuyen en la identificación de sustancias químicas, disminución de metales pesados y ayudan a bajar el índice de patógenos en los sustratos utilizados (Mondragón-Ancelmo *et al*, 2011). Cuando las lombrices están incorporadas en el suelo su función es llevar y combinar los elementos de la tierra del propio suelo para moldear el área compactada de importancia agrícola (Mazariego, 2018).

El humus de lombriz en el suelo contribuye a tener mayor filtración del agua, mejorando la permeabilidad y haciendo el sustrato más resistente a sequías, de esta forma el productor tiene un menor consumo de agua favoreciendo su economía. Por esta razón, el humus mejora la fertilidad del suelo aumentando la materia orgánica gracias a su intercambio iónico y catiónico. Es un producto natural que tiene la ventaja de poder utilizarse en cualquier cultivo potencializando su comercialización, por la calidad nutrimental que presenta (Tabla 2). Tanto que a las plantas las beneficia en su nutrición teniendo una mejor absorción de los nutrientes por medio de las raíces, así que, se estimula su crecimiento por él alto porcentaje de nitrógeno. Es por ello, que las plantas generan mayor resistencia a plagas y enfermedades, y además el humus sirve

como un potencial de sustrato para realizar la germinación de semillas (Delgado, 2007).

Tabla 2 Características nutrimentales de humus producido por medio de la lombricultura.

Parámetro	Porcentaje (%)
Humedad	30-60
PH	6.8-7.2
Nitrógeno	1-2.6
Fósforo	2-8
Potasio	1-2.5
Calcio	2-8
Magnesio	1-25
Materia orgánica	30-70
Carbón orgánico	14-30
Ácidos fúlvicos	14-30
Ácidos húmicos	2.8-5.8
Sodio	0-02
Cobre	0.05
Hierro	0.02

Fuente: (Barbado, 2004, citado por Mazariegos, 2018).

3.2.2 Descripción de *E. foetida*

La lombriz Roja californiana (*E. foetida*) es un anélido oligoqueto hermafrodita, esta especie es bastante prolífica y presenta un color café oscuro a rojizo (Figura 1) (Raya, 2010). Se le nombra comúnmente como Roja californiana, porque en la entidad de California se identificó que la lombriz contaba con características que beneficiaban el ecosistema y por ello se llevó a cabo en este mismo lugar el manejo de los primeros establecimientos de lombricompostas (Briceño y Pérez, 2017).

E. foetida es considerada un omnívoro, se caracteriza por fabricar túneles al desplazarse por el sustrato y prefiere alimentarse en la superficie para poder almacenar sus excretas en la zona más profunda del lombricomposteador (Ayma, 2020). También presentan una longevidad de 16 años es por ello que una lombriz de esta especie llega a tener 1500 lombrices anualmente y tiene un potencial de uso mayor en relación con otras especies para la transformación de los residuos orgánicos (Martínez, 2004).

3.2.3 Clasificación Zoológica

Reino: Animal

Tipo: Anélido

Clase: Oligoqueto

Orden: Opisthoptero

Familia: Lumbricidae

Género: *Eisenia*

Especie: *E. foetida* (Gastón *et al*, 2008).



Figura 1. Individuos adultos de lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida*).

3.2.4 Peculiaridades morfológicas

E. foetida llega a tener un cuerpo alargado de 2.5 a 7 cm, con un diámetro de 3 a 5 mm y cada lombriz tiene un peso promedio de 0.25 gr (Mazariegos, 2018), las lombrices presentan un cuerpo en forma de cilindro el cual se divide en 2 partes; la pared del cuerpo y el tubo digestivo, mismos; que se dividen por el celoma. Los somites son los fragmentos que parten el celoma, en una sección anterior y posterior (Arias, 2004).

En la sección anterior el somite que esta primero se le denomina la boca, área donde se localiza el prostomio y en la sección posterior se ubica el ano, generalmente una lombriz desarrolla de 40-250 somites. El clítelo se encarga de la producción de los capullos y el poro dorsal vincula la morfología interna con la externa y se sitúa en la superficie del cuerpo de la lombriz (Figura 2) (Arias, 2004).

En la morfología interna se localizan los tabiques que se encargan de dividir los segmentos sucesivos y se originan a través del peritoneo. Posteriormente de la boca se ubica la faringe y en el tubo digestivo se encuentra la molleja esofágica o se aloja al inicio del intestino. Además, cuentan con glándulas de morren encargadas de transformar el calcio y se desarrollan en el esófago. Los intestinos constan de válvulas y al final de estos se hallan los ciegos intestinales, también presentan a los nefridios que es el principal órgano del aparato excretor (Pineda, 2006).

Por consiguiente, el tubo digestivo alberga los vasos dorsal y ventral, en la zona esofágica se localizan los corazones, los testículos se desarrollan en la abertura celómica y por ello los canales deferentes son el camino de los espermatozoides y cuentan con uno para cada testículo. Las lombrices tienen vesículas seminales en tres pares de bolsas en forma lateral que comprenden los somites 9,10 y 11. En el 13 se encuentran los ovarios y su función principal es depositar los huevos en la zona celómica, posteriormente continúan los ovisacos y debido a que presentan una reproducción cruzada los espermatecas son los encargados de almacenar los espermatozoides de la otra lombriz en el periodo de la cópula (Pineda, 2006).

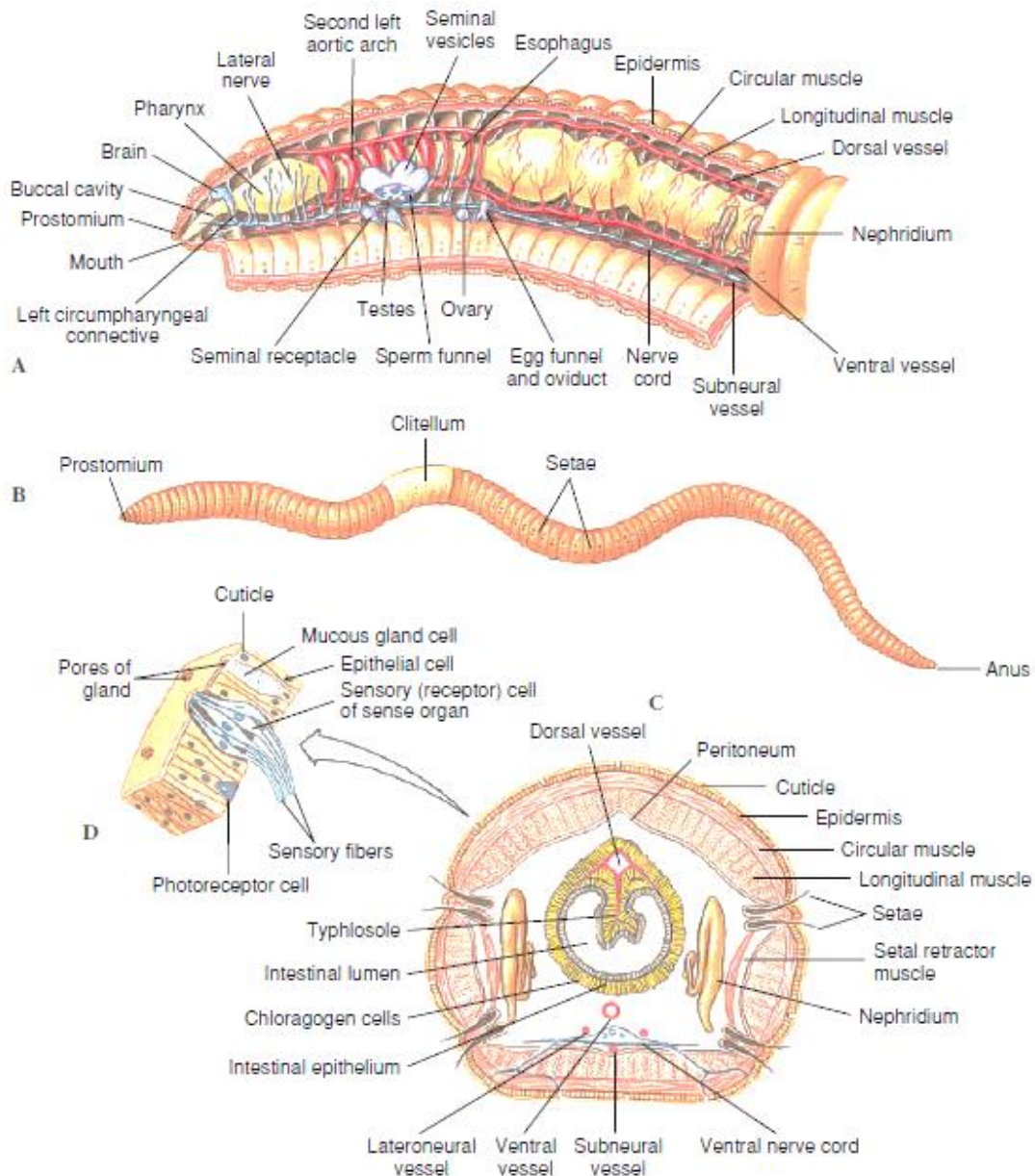


Figura 2. Morfología de Anélidos clase Oligoqueto. **A.** Morfología interna de la parte anterior de la lombriz. **B.** Morfología externa vista lateral de la lombriz. **D.** Características de una parte de la epidermis de la lombriz con células sensoriales, glandulares y epiteliales.

Fuente: (Hickman *et al*, 2008).

3.2.5 Fisiología de *E. foetida*

Sistema muscular: está constituido por fibras externas circulares o trasversas de musculo que abarcan todo el cuerpo de la lombriz, e internamente contiene fibras musculares longitudinales que ayudan en su traslado de un lugar a otro (Briceño y Pérez, 2017).

Sistema digestivo: está integrado por un canal alimenticio que une la boca y el ano, y a través del sistema se forman distintas secciones. En primer lugar, se localiza la cavidad bucal, posteriormente continua la faringe musculosa que tiene como función humectar el alimento por medio de una glándula que se encarga

de producir mucus. En tercer lugar, se ubica el esófago el cual está compuesto por el buche que se ocupa de reservar el alimento dándole un proceso impregnación y ablandecimiento. Seguidamente el alimento se conduce a la molleja área en donde es transformado para la digestión e impregnación en el intestino, por lo que se producen las enzimas de pepsina y tripsina (Figura 3) (Núñez, 2017).

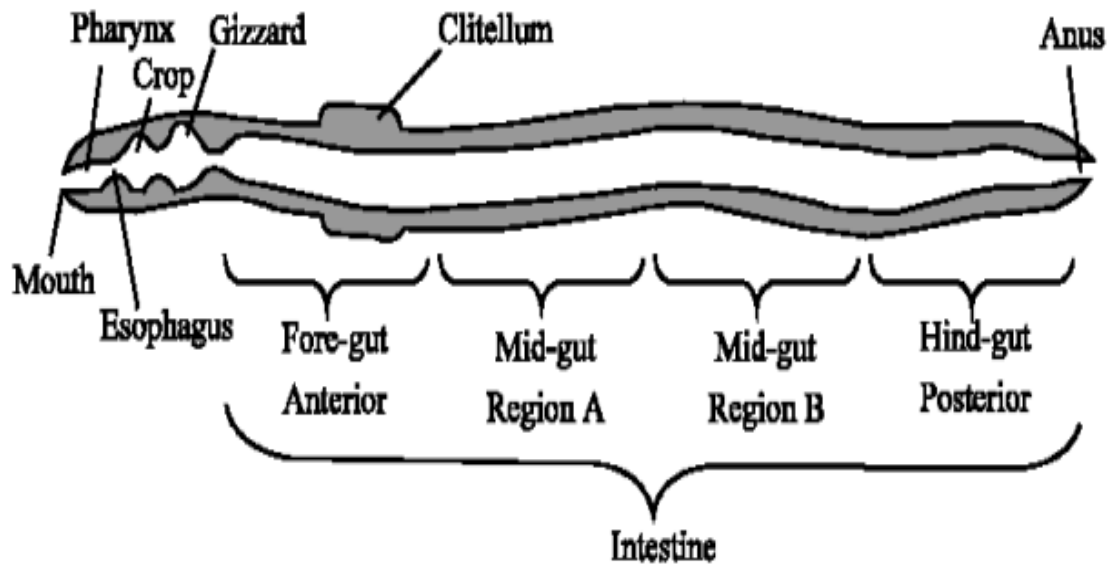


Figura 3. Descripción de las partes que integran el sistema digestivo de un *Oligoqueto*.

Fuente: (Brito-Vega y Espinosa-Victoria, 2009, citado por Horn *et al*, 2003).

Sistema excretor: está formado por los nefridios, comienza en el nefrostoma en forma de cono y finaliza en el nefridioporo que sirve para evacuar. Es un sistema que se encuentra por el par ventral de quetas y por medio de la pared del cuerpo, y en el tubo digestivo se transforman los desechos que se evacuan (Figura 4) (Núñez, 2017).

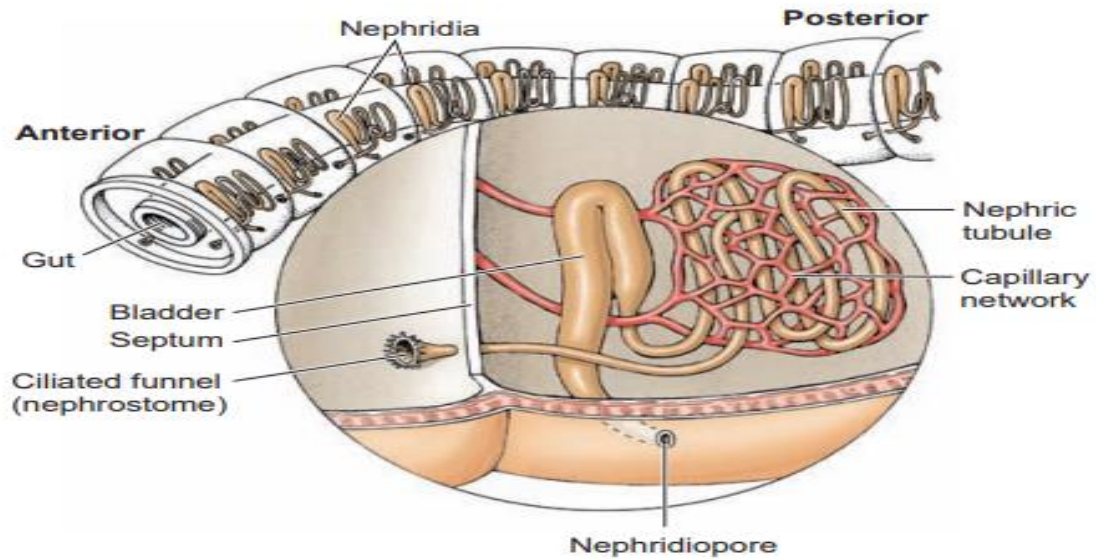


Figura 4. Nefridio de *Anélidos* clase *Oligoqueto* que conforma el sistema excretor mediante el cual los desechos entran por el nefrostoma y se evacuan en el nefridioporo.

Fuente: (Hickman *et al*, 2008).

Sistema nervioso: a este sistema lo compone principalmente el cerebro; mismo que lo acompañan dos ganglios suprafaríngeos con dos enlaces que envuelven la faringe y por ello se vinculan con los ganglios subfaríngeos bilobulados. A partir de esta área emerge el cordón nervioso ventral y abarca desde la zona ventral del celoma al ano. Por lo tanto, en cada uno de los somites se localiza un ganglio que se produce en el cordón nervioso ventral que cuenta con tres pares de nervios laterales y posteriormente emergen fibras sensitivas y motoras. Por último las fibras sensitivas dirigen estímulos de la epidermis al cordón nervioso y las motoras transportan del cordón nervioso a cada músculo y a las células epidérmicas (figura 5) (Núñez, 2017).

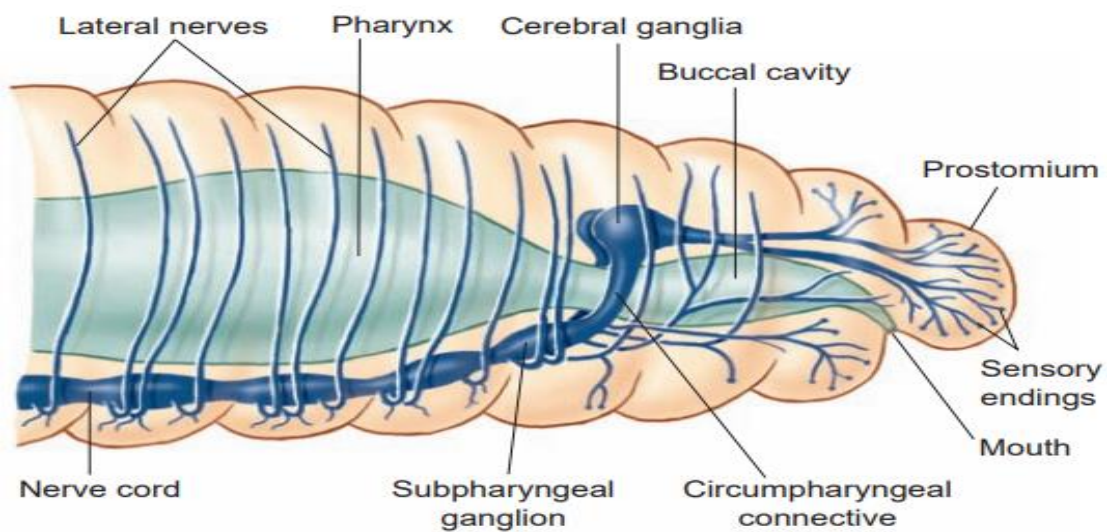


Figura 5. Características del sistema nervioso de *Anélidos* clase *Oligoqueto*.

Fuente: (Hickman *et al*, 2008).

Sistema circulatorio: cuenta con cinco vasos o corazones mismos que tienen como función bombear la sangre en el sistema completo de la lombriz. La sangre que es llevada con oxígeno (O) se hace mediante el vaso ventral que se sitúa en el área más uniforme y la sangre que contiene dióxido de carbono (CO₂) es transportada a través del vaso dorsal (Briceño y Pérez, 2017).

Sistema respiratorio: la respiración se da de forma cutánea debido que las lombrices no cuentan con pulmones, de esta manera cuando existe humedad en el ambiente de forma natural las lombrices capturan oxígeno a través de la piel generando un cambio de O y CO₂ (Briceño y Pérez, 2017). De tal modo, que la piel de la lombriz constantemente debe estar humectada ya que si se expone a estar seca por un periodo largo su cuerpo tiende a deshidratarse y morir (Sullcata, 2014).

Sistema neurosensorial: *Eisenia foetida* en su piel se integran células fotosensibles y en la epidermis se localiza el tacto. Por medio de las células neurosensoriales la lombriz reacciona a las alteraciones que le generan estrés y poder regular su temperatura. Cuenta con nervios que le ayudan a moderar su pH y con órganos gustativos que tienen como función diferenciar el alimento que consumen (Sullcata, 2014).

3.2.6 Ciclo reproductivo

La reproducción de la lombriz roja californiana es cruzada, llegan alcanzar un ciclo de 6 meses y medir hasta los 12 cm, teniendo en cuenta que una lombriz adulta pesa alrededor de 1 gr (Raya, 2010). Esta especie en su proceso reproductivo cuenta con cuatros estadios que son capullos, juveniles, sub adultos y adultos (Santis, 2014). *E. foetida* baja su rendimiento sexual en las épocas calientes y muy frías del año, logrando un mejor rendimiento de reproducción en los meses templados (Mazariegoz, 2018).

El proceso de reproducción consta de varias fases (Figura 6):

Cópula: se realiza cada 7-10 días, en esta se fase se crean 2 cocones a partir de los que salen un total de 9 individuos.

Cocón: aquí se lleva a cabo la colocación de los huevos en un periodo de 10 días, el huevo se tornará de un color amarillento y esta fase funciona como barrera de protección.

Incubación: se produce en un tiempo de 14-23 días.

Transito premadurez-madurez: inicia después de que las lombrices tienen un peso de 0.24 gr, llegando a una madurez sexual a partir de los 2 meses de edad y se propagaran cada 7 días (Mendoza, 2008).

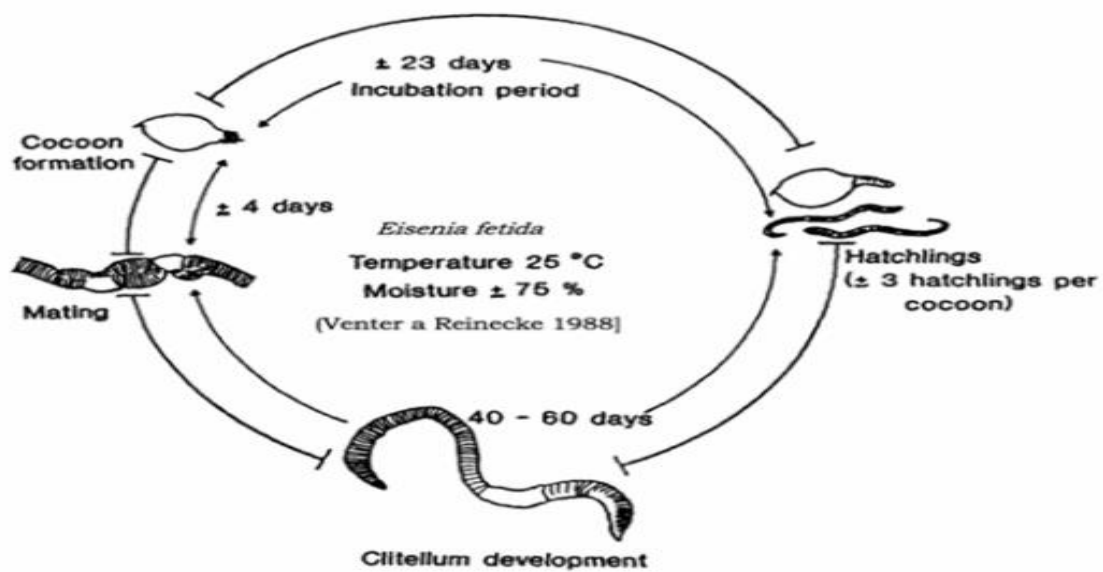


Figura 6. Descripción del ciclo de reproducción de *E. foetida*.

Fuente: (Reinecke y Viljoen, 1991, citado por Cruz, 2005).

3.2.7 Alimentación

Para su alimentación se utilizan ingredientes orgánicos, los más aptos son los que contienen celulosa y se recomienda la implementación de estiércol de ganado de corral (Tabla 3) (Núñez, 2017). Por consiguiente, si se garantiza la calidad del alimento se obtendrá una excelente reproducción de lombriz y modificación del sustrato. Es por eso, que el alimento debe contar con distintas condiciones; de las cuales las más importantes es no presentar elementos tóxicos y mostrar un desarrollo de maduración (Alas y Alvarenga, 2002). La cantidad que consume una lombriz es de 1 gr de alimento por día y excreta el 60% transformado en humus (Ayma, 2020).

3.3 Sustratos base para la implementación de lombricultura con *E. foetida*

En la implementación de lombricultura se utilizan diferentes sustratos con distintas características cada uno. Cuando se maneja estiércol fresco generalmente presenta una textura pastosa de color verdosa con un olor muy penetrante. Debido a esto es importante tener un periodo de precomposteo antes de su uso, ya que es muy alcalino para la lombriz. Así mismo, se emplea estiércol maduro que cuenta con 10-18 días de anterioridad de ser defecado, se observa una textura esponjosa con un color verde seco, en muchas ocasiones cuenta con un pH neutro y este tipo de estiércol es considerado el más apto para las lombrices. En caso de que no presente pH neutro es necesario precompostearlo antes colocarlo como sustrato en la lombricultura (Sullcata, 2014).

También se maneja estiércol viejo el cual se defeco con 20 días o más de anterioridad, su textura es dura y polvosa. Este tipo de sustrato es poco recomendable para su uso en la lombricultura, ya que su pH es muy ácido y las lombrices se ven afectadas propiciando una etapa de dormición y además el estiércol pierde todos sus nutrientes. Por lo tanto, si se usa es primordial precompostear el estiércol para neutralizarlo y combinarlo con residuos orgánicos para aportar nutrientes al sustrato (Sullcata, 2014). Entre los sustratos de estiércol que más se implementan es el de bovino, para ser óptimo para la lombriz debe contar con un periodo de siete meses de haber sido excretado (Baltierra, 2003) y también se utilizan rastrojos, cascara de frutas y hojas secas (Pedregal, 2017).

Tabla 3 Porcentaje de celulosa que contiene el estiércol de corral de diferentes especies ganaderas.

Sustrato	% Celulosa
Estiércol de conejo	10
Estiércol de equino	15
Estiércol de bovino	35
Estiércol de ovino	10
Estiércol de porcino	30

Fuente: (Núñez, 2017).

Cuando se pone en práctica se utiliza con mayor frecuencia el estiércol de bovinos adultos, aunque el proveniente de terneros también se maneja en la lombricultura, pero este tipo de excretas debe contar con un periodo de maduración de 6 a 12 meses debido a la acidez que presenta. Entre los más usados con el estiércol de bovino esta la implementación de estiércol de ovino el

cual cuenta con un tiempo de maduración muy rápida de 1 día a 8 meses, este tipo de estiércol es almacenado por ciclos extensos en los corrales y de tal forma presenta compactación; es por ello que se puede agregar hojarasca o pasto para tener una mejor textura y utilidad (Cárdenas, 2005).

Algunos productores implementan en la lombricomposta el estiércol de cuy que cuenta con un alto porcentaje de N, F y P. El estiércol de ave también es utilizado para la producción de humus, el más recomendable es el de gallinas ponedoras, ya que si se maneja estiércol de aves de engorda contiene en algunos casos coccidiostáticos que alteran el desarrollo de la producción (Ayma, 2020).

Algunos productores que se dedican a la lombricultura también ponen en práctica el estiércol de equino gracias a que cuenta con un excelente porcentaje de celulosa y es recomendable usarlo al principio de la puesta del proceso o como capa de protección en épocas de frío teniendo una vida de madurez de 6 meses. Por consecuente, en ocasiones se utiliza el estiércol de porcino que proviene de producciones intensivas y este tipo de estiércol cuenta con grandes concentraciones proteicas. Se recomienda que no se maneje el estiércol muy líquido para esto es necesario esperar su maduración alrededor de 9 a 10 meses y que se torne ha solido (Cárdenas, 2005).

3.4 Parámetros generales requeridos de *E. foetida*

3.4.1 Temperatura

La lombriz roja californiana es una especie que se adapta fácilmente a distintas alteraciones en su ambiente. Debe señalarse que la temperatura más apta se encuentra entre los 18-28°C, siendo la mejor para la etapa de reproducción. (Santis, 2014). Pero pueden sobrevivir en temperaturas no mayores a 40°C, en las épocas con temperaturas más frías y calientes la reproducción disminuirá considerablemente. En el momento que se alcanza una temperatura por debajo de los 7°C no se realiza la reproducción y la producción de humus sigue llevándose a cabo, pero en proporciones más bajas (Pedregal, 2017).

3.4.2 Humedad

La humedad de un sustrato apto para que exista un mejor desarrollo de las lombrices debe oscilar entre el 70-80%, ya que si la humedad aumenta por arriba del 85% la aireación disminuye y como consecuencia las lombrices dejan de alimentarse para pasar a un proceso de latencia. Cuando existe una humedad menor al 70% el sustrato se encuentra en una situación crítica debido a que, si está muy seco las lombrices no pueden desplazarse por toda la lombricomposta, una humedad menor al 55% o mayor al 95% es un factor determinante para que las lombrices mueran (Muñoz, 2015).

3.4.3 PH

Es un parámetro fundamental que interviene primordialmente en la reproducción de la lombriz, el pH de 5-8.4 es el estado en el que la lombriz puede adaptarse, pero es importante mencionar que el pH más apto es de 7 ya que se encuentra en un estado neutro. Cabe destacar que si el pH se mantiene ácido la lombriz inicia una fase de descanso generando plagas en el proceso (Santis, 2014).

3.5 Variables que afectan la producción y reproducción de *E. foetida*

3.5.1 Ácaros (*Astigmata*)

En los excrementos que se utilizan para el manejo de la lombricultura en algunas ocasiones se desarrollan los ácaros y al paso del tiempo de la producción empiezan a manifestarse en la lombricomposta. Estos organismos no son depredadores de las lombrices, pero si se disputan el alimento (residuos orgánicos) de la lombricomposta por lo que afecta el desarrollo y reproducción de *E. foetida* (Santis, 2014).

3.5.2 Mosca soldado (*Hermetia illucens*)

Se manifiestan en la lombricomposta cuando no existe un buen manejo en la alimentación de las lombrices, debido a que los R.O cuando tienen mucho tiempo en descomposición sin ningún proceso de compostaje se presentan las larvas de mosca. Las cuales se desarrollan en la lombricomposta y como consecuencia generan estrés y compiten por el alimento con las lombrices. Se puede tener un control de estos organismos con un mejor manejo en la alimentación y en caso de que ya se encuentren en la lombricomposta se quitan manualmente las larvas, aunque puede llegar a ser tedioso (Mazariegoz, 2018).

3.5.3 Hormigas (*Formicidae*)

Estos individuos afectan la reproducción de las lombrices debido a que tienden a extraer las cápsulas y a las lombrices del lombricomposteador. Un método de manejo de control y erradicación es a través de la aplicación de una buena humedad en la lombricomposta, en caso de que se encuentren alrededor o afuera del lombricomposteador se recomienda aplicar ceniza caliente en el hormiguero o tapanlo. El uso de cinta canela en los alrededores de los lombricomposteadores, jabón diluido en agua o extracto de neem evitara que las hormigas suban al lombricomposteador (Arias, 2004).

3.5.4 Planarias (*Planariidae*)

Son organismos que afectan la población de lombrices en el lombricomposteador de manera muy representativa, para localizar la planaria en la lombricomposta es complicado debido a que se albergan en los R.O (Arias, 2004). Por lo tanto, las planarias se encuentran en los residuos y se unen al cuerpo de la lombriz firmemente a través de una sustancia que expulsan y funciona como pegamento, lo que produce que absorba el sistema interno de la lombriz y la mate (Martínez, 2004). Estos organismos se controlan con un buen manejo de alimentación, humedad y monitoreo en las lombrices (Arias, 2004).

3.5.5 Aves

Algunas de las aves que afectan a las lombrices son los mirlos, tordos, cuervos y palomas. El modo de ataque que usan es escarbar la lombricomposta con sus patas y pico, para el tipo de control que se usa en este caso es colocar arriba del lombricomposteador malla sombra, hule, láminas o ramas; de esta forma se ahuyentan las aves y se les impide entrar en la lombricomposta. Es recomendable que cuando se maneje láminas o hules cuenten con pequeñas aberturas para permitir la oxigenación y tener una excelente humedad (Cajas, 2009).

3.5.6 Topos

Estos animales son considerados un gran problema que afecta la producción de lombricultura, se manifiestan cuando las instalaciones están al ras del suelo o sin protecciones. Debido a que por medio de túneles subterráneos ingresan al lombricomposteador, para su manejo o control se debe implementar la utilización de cercas o mallas que rodeen el área o elaborar los lombricomposteadores con materiales resistentes por ejemplo ladrillo, metal, llantas etc. (Cajas, 2009).

3.5.7 Ratones

Los ratones cuando se convierten en muchos individuos representan un riesgo para las lombrices. La manera de controlarlos es teniendo una humedad óptima en la lombricomposta y con el manejo de trampas manuales (Santis, 2014).

3.5.8 Gallinas ciegas (*Scarabaeidae*)

Estas larvas de coleópteros indican un gran problema en la lombricomposta por que se alimentan vorazmente de las lombrices y es por ello que las gallinas ciegas tienden a prevalecer en mayor población. Su manejo y control es complicado ya que tiene que ser manual y tiende a ser tedioso y tardado (Raya, 2010).

3.5.9 Sapos

Afectan directamente el rendimiento de las lombrices porque pueden alimentarse solo de ellas en su dieta diaria. Se implementa como control tapar la superficie de los lombricomposteadores y colocarlos a un nivel más alto del suelo para evitar que los sapos entren y de esta manera no representaran ningún riesgo en la producción de lombriz (Cárdenas, 2005).

3.5.10 Serpientes

Las instalaciones de los lombricomposteadores se ven afectados por serpientes cuando se encuentran cuerpos de agua cerca, por lo que; las serpientes tienden a alimentarse de las lombrices, pero no son muy comunes que aparezcan. Para su manejo se recomienda no instalar los lombricomposteadores cerca de corrientes de agua y mantener tapados los almacenes de agua que se encuentren en el área (Cárdenas, 2005).

3.5.11 Tipo de manejo en la producción

En la lombricultura la variable potencial que afecta a las lombrices es las personas que las manejan. Debido a que para tener un buen desarrollo de producción y reproducción de las lombrices es importante conocer los requerimientos básicos para su manejo (Sullcata, 2014).

3.6 Relevancia de los abonos orgánicos

Debido al aumento de la demografía mundial existe una alta demanda de alimentos, lo que ha ocasionado la explotación excesiva de los recursos naturales. Esto ha generado problemas perjudiciales en el ambiente y también ha dañado la estabilidad de las producciones (Pérez *et al*, 2008). Una alternativa viable es la agricultura orgánica, la cual puede contribuir y frenar el desgaste de los suelos causado por el manejo constante de agroquímicos (Vinces, 2014).

En específico, la aplicación de abonos orgánicos, aparte de regenerar la estructura y composición microbiana del suelo, desempeña un papel importante en el reaprovechamiento de nutrientes (Vinces, 2014). El manejo de ácidos húmicos y fúlvicos es de gran importancia ya que son elementos primordiales en la creación de microorganismos en el suelo o sustratos, mismos ácidos que el abono de lombriz contiene. La materia húmica potencializa el intercambio catiónico y regula la cantidad de P en los cultivos. Además, ayudan en el monitoreo y reducción de patógenos recurrentes en el suelo (Félix-Herrán *et al*, 2008).

La producción de abonos puede absorber los desechos orgánicos provenientes de prácticas silvícolas y agropecuarias, los cuales contribuyen en el calentamiento global a través del escurrimiento de nitratos (N-NO₃) a yacimientos de agua, aglomeración de ligninas, aceites aromáticos y resinas (Hernández-Rodríguez *et al*, 2013).

Por nombrar algunos abonos orgánicos que existen son el: bocashi, compost, lombricomposta y bioles (Muñoz, 2015). En la producción de los abonos orgánicos se requiere residuos de origen animal, vegetal y mixto, que son incorporados al suelo con el fin de renovar y contribuir en sus propiedades físicas, biológicas y químicas (Romero *et al*, 2004). Estos abonos son muy útiles para la sostenibilidad de los suelos y deben estar compuestos de materia orgánica madura. Para ello, se utiliza un proceso de desintegración y creación de sustancias húmicas. La desintegración se puede llevar a cabo en ambientes con presencia o ausencia de oxígeno (Ludeña, 2009).

El manejo de fermentaciones orgánicas de lactobacilos en la agricultura en algunas ocasiones se combina con abonos sólidos y agua miel para inocularlos. Por medio del uso de cáscaras de bayas se realizan fermentaciones, por ejemplo, el tepache se incorpora en el agua y funciona como herbicida en altas cantidades y en proporciones óptimas para el cultivo manejado contribuye en su desarrollo. Por lo tanto, estas fermentaciones a partir de cáscaras son eficaces al producir aminoácidos libres, bajar la carga eléctrica de disoluciones y mejor filtración de microorganismos a la planta (Félix-Herrán *et al*, 2008).

3.7 Empleo del abono producido con *E. foetida*

Existen dos tipos de abono que se obtienen de la lombricultura con *E. foetida*; humus sólido y humus líquido. En el proceso de lombricultura al momento de alimentar las lombrices con residuos orgánicos ellas originan los lixiviados, los cuales al mezclarse con los líquidos provenientes de los demás residuos o que se incorporan al sustrato; se obtiene como producto final el humus líquido (Figura 7). Por último, el humus sólido se obtiene del producto de la digestión de la lombriz (Muñoz, 2015).



Figura 7. Humus líquido obtenido mediante el proceso de lombricultura.

El abono sólido se clasifica en humus fino (Figura 8) y grueso (Figura 9); a la flora que requiere de manera inmediata de nutrientes se recomienda suministrar el humus fino por las características que presenta de fácil absorción. Por consiguiente, el humus grueso se aplica en sembradíos de cultivos, frutales y árboles, porque su liberación de nutrientes es de forma paulatina (Rostrán *et al*, 2003).



Figura 8. Humus fino obtenido mediante el proceso de lombricultura.



Figura 9. Humus grueso obtenido mediante el proceso de lombricultura.

La aplicación del humus se puede realizar por voleo; esto ayuda a que el abono se aplique de manera uniforme en el suelo, se recomienda taparlo para que exista un mejor aprovechamiento de los nutrientes. También se maneja de manera de banda, la cual consiste en hacer una línea en el suelo donde se aplicará el humus a determinada distancia del área o planta a beneficiar. Otra forma de implementarlo es de manera foliar, se basa en el empleo directo en las hojas de las plantas (Delgado, 2007).

El suministro del humus en algunos casos lo mezclan con fertilizante sintético, en la germinación de semillas de modo directo e incorporado en el sustrato del trasplante de plantas de viveros (Rostrán *et al*, 2003). La dosificación (Tabla 4) del abono orgánico es de 1 kg por 5 m² en plantíos de hortalizas o flores, es importante resaltar no suministrarlo en periodos muy fríos o altamente calientes. Su almacenaje de vida es ilimitado con las condiciones de humedad y temperaturas específicas (Velásquez, 2019).

Tabla 4 Proporciones para la aplicación de humus producido con *E. foetida* en diferentes cultivos.

Área	Dosis
Praderas	800 g/m ²
Hortalizas	1 kg/m ²
Invernaderos	1 a 2 kg/m ²
Ornamentales	150 g/planta
Abonado de fondo	160-200 l/m ²
Recuperación de terrenos	2500-3000 l/ha
Cultivos extensivos	1 a 3 ton/ha
Rosales y leñosas	0.5-1 kg/m ²
Frutales	2 kg/árbol
Césped	0.5-1 kg/m ²
Trasplante de coníferas	0.5-2 kg/árbol
Arboles adultos (coníferas)	2 a 5 kg/árbol
Setos	100-200 g/planta

Fuente: (Schuldt, 2006, citado por Raya, 2010).

3.8 Estudios de caso en aplicación de abonos orgánicos en cultivos

Luján, (2018), menciona que la implementación de humus de lombriz a partir de estiércol de *Bos taurus* (*Bovidae*), resulta ser más efectivo en la ganancia de altura en cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) (*Solanaceae*) var. Serranita con dosis de 3 t/h, mientras que el peso más alto de los tubérculos de la primera cosecha fue de 3.33 kg por planta resultando para el tratamiento T3 que contiene humus de lombriz, siendo este el más eficiente en rendimiento, altura, número de hojas para primer y segunda calidad en el producto final. Similar resultado fue para Benavides, (2019), donde alcanzó mejor rendimiento (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja) al aplicar 15 t ha⁻¹ con humus y el peso de los tubérculos se mostraron dependientes significativamente de las proporciones que se usen de humus, ya que no existió diferencia significativa entre el bioestimulante foliar y humus. Por su parte Condori, (2014), menciona que el mejor rendimiento de (*Solanum tuberosum*) fue en su tratamiento con 1.5 kg humus de lombriz correspondiente a su tratamiento 5 determinando que la aplicación de humus es eficiente en la primera calidad de papa.

Báez y Marín, (2010), menciona que en el manejo de abonos orgánicos no existe diferencia significativa en el crecimiento y cosecha de (*Zea mays* L.) en la variedad NB-6. Pero mencionan que en investigaciones realizadas por otros autores por ejemplo Arnesto y Benavides, (2003), si hay diferencia significativa en la altura y total de hojas, con tratamientos orgánico y mineral en maíz representando mejores resultados el tratamiento orgánico. Similar resultado fue para Roblero, (2011), mostrando mayor rendimiento en número de hojas con un 10% de lombricomposta más 90% de agua destilada en comparación con los demás tratamientos en la variedad Celaya y progreso. Además, Méndez, (2011), menciona que se obtuvo un mejor desarrollo de maíz (*Zea mays* L.) con dosis de químico-foliar con 2.1 m teniendo una diferencia significativa de 21 cm en comparación con el testigo. Por lo que las plantas con tratamiento químico-foliar resultaron con mayor índice de diferencia significativa en el diámetro del tallo con 42.99 mm en relación al tratamiento con químico. Concluyeron que con humus de lombriz (*Eisenia foetida*) favorece al mejor desarrollo y rendimiento del grano de maíz en relación con las plantas sin biofertilización, también obtuvo que al implementar la fertilización con humus y te de humus de lombriz las plantas se desarrollaron con niveles más altos de biomasa.

Por otro lado, Durán y Henríquez, (2009), encontraron que, la reproducción de lombriz (*E. foetida*) disminuye de acuerdo con el sustrato que se utilice, mencionan que, en la implementación de tratamientos orgánicos a base de broza de café, estiércol vacuno, desechos domésticos, producciones bananeras y de plantas ornamentales; se obtiene el peso promedio más alto de *E. foetida* de 0.66 gr por lombriz y menor de 0.34 g. Además, con los análisis químicos de los tratamientos se obtuvo un pH y salinidad elevados, de tal manera se ve afectada la adaptabilidad y desarrollo de la lombriz. Por lo tanto, cuando se utiliza *E. foetida* para tener mejor resultados se indica realizar estudios bioquímicos al sustrato utilizado, para garantizar que cuenta con los nutrimentos necesarios para el desarrollo de la lombriz. Similares resultados obtuvieron Campoverde *et al*, (2020), donde mencionan que el sustrato más eficaz para la producción de *E.*

foetida con un peso total de 937.5 gr es cáscara de papa resultando con el contenido nutricional más elevado, en comparación con la mezcla de 50 % de cáscara de papa y 50 % de estiércol y estiércol de cuy.

Cervantes *et al*, (2018), mencionan que, al implementar fertilización química y orgánica a una profundidad de 15 cm en cultivos de sandía, utilizando estiércol solarizado y vermicompost, se obtiene un índice más alto de conductividad eléctrica comparado a la implementación de fertilización química. Concluyendo que la vermicompost presentó un mayor rendimiento con 3 t ha⁻¹ y el estiércol solarizado con 32 t ha⁻¹, y la humedad más alta fue en muestras de profundidad de 7.5 a 15 cm con 40 t ha⁻¹ de estiércol bovino y 9 t ha⁻¹ de vermicompost, siendo los tratamientos más recomendables en el rendimiento de sandía. Similares resultados obtuvieron Sarmiento-Sarmiento *et al*, (2019), donde se caracterizó el suelo para identificar sus componentes nutricionales y compararlos con los requerimientos de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) var. Santa Amelia resultando que con dosis de humus de lombriz de 4 t·ha⁻¹ más crema de algas marinas de 4 litros·ha⁻¹ el desarrollo significativamente de la guía. Asimismo, encontraron que el rendimiento en el peso de los frutos de sandía, la dosis de humus de lombriz de 8 t·ha⁻¹ resultó más eficaz combinada con crema de algas. Resaltando que recomiendan manejar humus de lombriz de 4 t·ha⁻¹ más crema de algas de 2 litros·ha⁻¹ como sustratos para mejorar la materia orgánica en los cultivos de sandía.

Martínez *et al*, (2013), citado por Rodríguez y Ruíz, (2013), mencionan que las plántulas de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* L.) tienen mayor cantidad de materia seca en las raíces y un índice mayor de 2.24 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica con la vermicomposta de borrego en relación con las plántulas de tomate que se desarrollaron en el tratamiento de vaca y conejo. En la porosidad total significativa la vermicomposta de vaca con un 90% resultó superior a la de conejo y borrego. Similares resultados obtuvieron Aguiñaga-Bravo *et al*, (2020), aportando más porcentaje de nitrógeno con un 3.37% en dosis de estiércol de ovino más fertilizante químico al 50% en comparación con una fertilización química al 100% en *P. ixocarpa*. Además, en la raíz se obtuvo mejor rendimiento de biomasa con bocashi más fertilización química al 50%.

Candelaria *et al*, (2013), mencionan en el estudio “Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana” teniendo como objetivo Implementar una productora de lombricomposta en el ejido Nicolás Bravo, de la Ciudad de Arriaga, Chiapas. Al comparar los resultados de los estudios se obtuvo una respuesta favorable y se convirtió en una propuesta viable para llevarla a cabo y contribuir en el mercado, salud y medio ambiente de la zona. Además de que aprendieron el manejo de la lombricultura y la importancia que tiene *Eisenia foetida* en distintos ámbitos.

Por otro lado, Olivares-Campos *et al*, (2012), realizaron un estudio, en el que mencionan que en la utilización de abonos orgánicos a base de estiércol vacuno lechero y aserrín, por medio del compostaje y lombricompostaje la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en los resultados foliares el T-1 con 26.2 g sobre materia seca

(sMS) de lombricomposta en relación con el testigo fue distinto teniendo 0.71% de Ca y para las concentraciones de Mg T-1 y T-4 con 0.032 g de urea y 26.2 g sMS de lombricomposta fueron los índices más altos en correlación con el testigo. Los datos arrojaron que T-1, T-2 con 26.2 g sMS de composta y T-5 con 0.032 g de urea y 26.2 g sMS de composta tuvieron la presencia más baja de Zn y para los registros de Cu y Fe no se generó una diferencia significativa en relación al testigo. Concluyeron que la composta y lombricomposta se recomienda su uso como fertilizantes nitrogenados para una dispersión gradual de minerales. Por lo que el manejo de la composta contribuye en el enriquecimiento de los suelos de áreas agrícolas, áridas y semiáridas. Similar resultado obtuvo Doria, (2020), siendo más eficaz en el rendimiento de cobertura vegetal de (*Lactuca Sativa L*) el tratamiento con dosis media de humus de lombriz de 10 t.ha⁻¹ mostro la mayor cobertura de 0.21 m². Teniendo el peso fresco de lechuga por planta más representativo con dosis alta de humus de lombriz de 12 t.ha⁻¹ con un 1 kilogramo promedio.

Morales *et al*, (2009), utilizaron composta a partir de estiércol de caballo, cerdo, vaca y gallina, para evaluar el efecto sobre el desarrollo de la lombriz (*Eisenia foetida*). Como resultado se mostró la más alta presencia de nitrógeno en el tratamiento de cerdo, en los índices de carbono se mostraron los más altos en el sustrato de cerdo y caballo. En conclusión, de los tratamientos manejados se recomienda para implementarlo en la agricultura el tratamiento de caballo debido a sus componentes que presento. Similares resultados obtuvieron Durán y Henríquez, (2007), en el cual es más eficaz los desechos domésticos para las concentraciones de calcio, y generando la mayor concentración en potasio en el manejo de sustrato como plátano. Teniendo una mejor relación de carbono nitrógeno en el estiércol de vaca, y resaltan que las características del vermicompost se establecen por el tipo de residuos orgánico utilizados.

4. HIPOTESIS

Las características físicas y químicas de los abonos orgánicos influyen o mejoran la producción agrícola, debido a los numerosos nutrientes que aportan y liberan, sin embargo, las variables en los procesos de transformación de R.O. con el uso de estiércoles de distinta procedencia da como resultado el cambio en sus características físicas y químicas. La producción de abonos agrícolas por medio de la lombricultura favorecerá las características fisicoquímicas de los abonos basados en estiércoles, especialmente bovino, que repercutirán en la mejora de los sistemas agrícolas en los que se utilicen.

5. OBJETIVOS

- Objetivo general

Caracterizar fisicoquímicamente los abonos orgánicos producidos con la técnica de lombricultura.

- Objetivos específicos

Producir abonos orgánicos mediante la lombricultura.

Determinar las características físicas de cada abono.

Caracterizar químicamente cada uno de los abonos orgánicos.

6. METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el módulo de Conservación y Manejo de Recursos Naturales, de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Campus Concá. La localidad de Concá se localiza en el municipio de Arroyo Seco, la cual se ubica dentro de la estación climatológica de Ayutla, Arroyo Seco. Predomina un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, contando con unas temperaturas mínimas de 10.6-20.7 °C y máximas de 26-33.5 °C. (Luna y Suzán, 2016).

6.2 Diseño experimental

El proyecto se realizó durante la primavera y verano del 2021, periodo en el que se alcanzan las condiciones climáticas más adecuadas para la producción de abono (Mazariegos, 2018). Se establecieron tres tratamientos utilizando como sustrato base estiércol de ganado bovino como tratamiento 1 (Vac), en el tratamiento 2 se manejó estiércol de equino (Cab), mientras que para el tratamiento 3 se utilizó como sustrato estiércol de ovino (Bor); así mismo se contó con un tratamiento testigo a base de tierra, cada uno de los tratamientos y testigo tuvieron 3 repeticiones.

6.3 Producción de abonos orgánicos mediante la lombricultura

Se siguió la propuesta metodológica de Prado (2013) para producir el abono por medio de la lombricultura. En concreto, el proceso consto de los siguientes pasos 1: Colecta de residuos, 2: Precomposteo del sustrato, 3: Prueba de supervivencia, 4: Instalación de los ensayos, 5: Monitoreo y 6: Cosecha. Siguiendo el Manual de buenas prácticas pecuarias de SENASICA de higiene.

1. Colecta de residuos: se recolectó estiércol de ganado de la comunidad de Concá, Arroyo Seco provenientes de diferentes producciones ganaderas (bovino (figura 10), ovino (Figura 11) y equino (Figura 12)). Para la recolecta de los tres tipos de estiércol, en los corrales se implementó el uso de botas de hule, palas, guantes y cubrebocas; posteriormente el estiércol colectado se almaceno en costales reciclados para separarlos. Luego fueron transportados a la unidad de bioinsumos del Módulo de Manejo y Conservación de Recursos Naturales, del Campus Concá, para la obtención de los residuos vegetales se trazó una ruta de recolección por diferentes locales de comida en la localidad de Concá. La recolección de R. O. se realizó los días lunes, miércoles y viernes, en cada uno de los puntos de recolección se les proporcionó un contenedor para su almacenaje.
2. Precomposteo del sustrato: una vez trasladados cada uno de los estiércoles a la unidad de bioinsumos, de manera separada y con ayuda de palas se extendió una capa de estiércol en el suelo, luego se colocó encima una capa de cal y al mismo tiempo se humedeció con agua. Posteriormente se puso una capa de residuos orgánicos y se agregó cal y finalmente otra capa de estiércol. Estas capas se repitieron cuatro veces asegurando al termino estiércol suficiente para cubrir las todas (Figura 13). Cada uno de los estiércoles se precompostearon el mismo día y fueron

cubiertos con hule, se monitoreo su humedad, pH y temperatura cada tercer día con ayuda de un multiparamétrico de suelo hasta obtener las características de acides necesarias de un pH neutro.



Figura 10. Estiércol de bovino colectado como sustrato para su procesamiento mediante el proceso de lombricultura.



Figura 11. Estiércol de ovino colectado como sustrato para su procesamiento mediante el proceso de lombricultura.



Figura 12. Estiércol de equino colectado como sustrato para su procesamiento mediante el proceso de lombricultura.



Figura 13. Precomposteo de residuos orgánicos y estiércol para su procesamiento mediante el proceso de lombricultura.

3. Prueba de supervivencia: para determinar que el precomposteo fuera el adecuado se tomó una muestra del estiércol precompostado y se colocó en una caja de madera de 25 cm de alto x 33 cm ancho x 48 cm largo, posteriormente se agregó un montón de lombrices adultas. Después de 24 horas, si las lombrices se encontraban dispersas en toda la caja el

estiércol precompostado fue un indicador de que estaba listo para establecer los lombricompostadores (Figura 14).



Figura 14. Prueba de supervivencia de *E. foetida* en el sustrato precompostado.

4. Instalación de los ensayos: las repeticiones de cada tratamiento se instalaron en huacales de madera de 25 cm de alto x 33 cm ancho x 48 cm largo, a cada repetición se le colocó 4.800 kg de sustrato precompostado y ½ kg de pie de cría de lombriz (Figura 15).



Figura 15. Instalación de los ensayos en la unidad de bioinsumos.

5. Monitoreo: para el registro de los datos físicos, con la ayuda de un multiparamétrico de suelo 4-in-1 Soil Condition Meter No. DSMM600 se midieron cada tercer día la temperatura, pH y humedad (Figura 16). La humedad se midió en escalas de acuerdo al multiparamétrico (Tabla 5). Las lombrices se alimentaron cada tercer día con 500 gr de residuos vegetales. Por último, se colocó 500 gr de sustrato cada tres días en cada repetición respectivamente hasta terminar el sustrato precompostado para ir formando la lombricomposta.

Tabla 5 Escalas de porcentajes de humedad de acuerdo a los parámetros del equipo utilizado.

Escala	Porcentaje de humedad	Dato del multiparamétrico
1	<5%	Muy Seco
2	5-10%	Seco
3	10-20%	Normal
4	20-30%	Húmedo
5	>30%	Muy húmedo



Figura 16. Multiparamétrico para medir temperatura, pH y Humedad del suelo.

6. Cosecha: después de dos meses de iniciado el lombricompostaje se cosecho cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Para esto se utilizaron dos cribadoras metálicas manuales de 2 mm y 4 mm, primero se pasó el abono por la cribadora de 2 mm para obtener el abono fino posteriormente el abono sobrante se colocó en la criba de 4 mm para cosechar el abono grueso (Figura 17). Se registró el total de kilogramos de cada abono obtenido, así como la producción de lombriz. Los abonos producidos (Figura 18 y Figura 19) se almacenaron en bolsas negras de plástico etiquetados para su identificación.



Figura 17. Procesamiento de cribar para la obtención de abono sólido.



Figura 18. Abonos resultantes de la cosecha de la etapa primavera-verano.

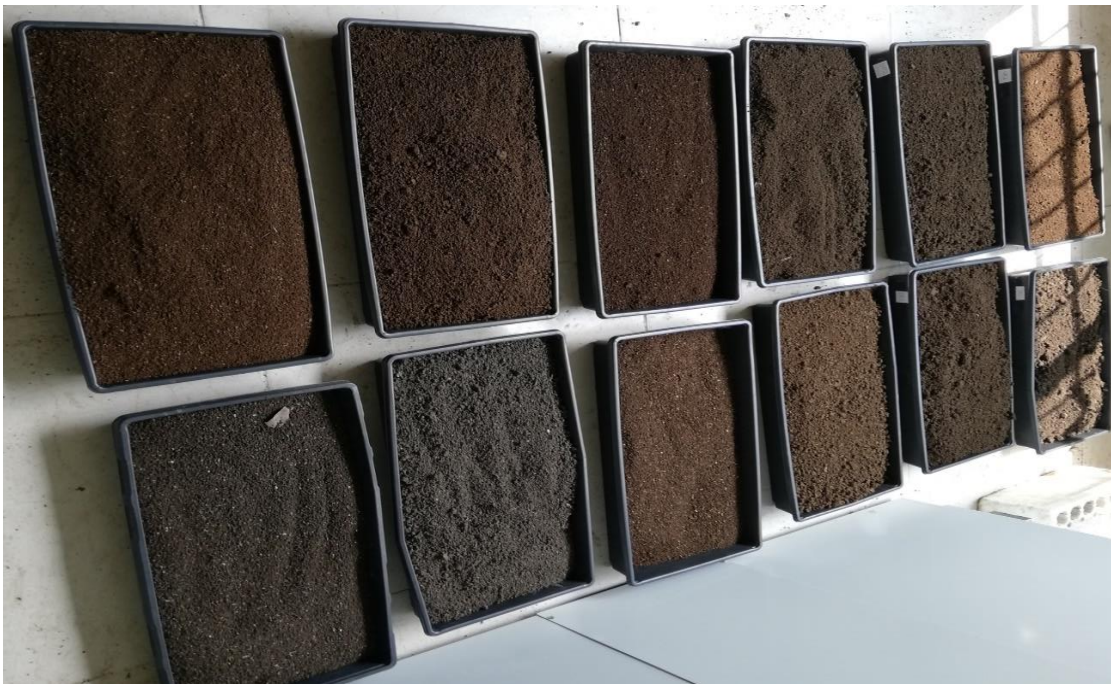


Figura 19. Abonos resultantes de la cosecha de la etapa verano-otoño.

6.4 Análisis físicoquímico

Las pruebas de los abonos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Edafología del Centro de Geociencias, del campus Juriquilla de la Universidad Nacional Autónoma de México, con la M. en C. Sara Solís Valdez, siguiendo la metodología propuesta por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Se analizaron como se

analizan los suelos. La primera prueba que se realizó fue conocer el contenido de humedad de la muestra, para ello se utilizó el método AS-05 por gravimetría y calcula la cantidad de agua que abarca un suelo en gramos, empleando la siguiente fórmula:

$$^{\circ}g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} * 100$$

Donde:

$^{\circ}g$ = Contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje (%).

PB= Peso del bote con tapa (g).

Psh= Peso del suelo húmedo (g).

PB+Psh= Peso del bote más peso del suelo húmedo (g).

PB+Pss= Peso del bote más peso del suelo seco (g).

Para conocer el contenido de materia orgánica (MO) se llevó a cabo por el método AS-07 de Walkley y Black. El cual parte de la oxidación del C orgánico, a través de un disolvente de dicromato de potasio y el calor resultante de la reacción al combinarla con ácido sulfúrico, por lo que se empleó la siguiente fórmula: $\% C \text{ Orgánico} = (B - T) / g (N)(0.39) mcf$

Donde:

B= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).

T= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).

N= Normalidad exacta del sulfato ferroso.

g= Peso de la muestra empleada (g).

mcf= Factor de corrección de humedad.

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% C \text{ orgánico} (1.724)$$

La obtención del pH de suelo, se llevó a cabo mediante el método AS-02 medido en agua y cloruro de potasio (KCl). Potenciométricamente se ocupó una relación de suelo-agua 1:2.5. Con ello, obtuvimos el pH real y potencial de la muestra.

Por otro lado, también se determinaron las concentraciones de cationes y aniones solubles en agua, cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos, utilizando para ello método AS-20 a través de el extracto de saturación y posterior determinación a través de métodos volumétricos.

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ mmol/L en el extracto} = \frac{2 V * N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 1000}{\text{mL de muestra utilizados}}$$

$$\text{HCO}_3 \text{ mmol/L en el extracto} = \frac{(T - 2V - b) * N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 1000}{\text{mL de muestra utilizados}}$$

Donde:

V= m L utilizados para la 1ª titulación.

M= m L gastados en la 1ª titulación (volumen de HCl utilizado).

N= Normalidad real del ácido utilizado (obtenido con el blanco).

T= m L gastados en la 2ª titulación.

b= m L de H₂SO₄ utilizados para titular 10 m

Para calcular los cloruros se empleó la siguiente fórmula:

$$Cl \text{ (mmolc/L extracto)} = \frac{AgNO_3 * N \text{ real } AgNO_3 * 100}{m \text{ L alícuota}}$$

Posteriormente se calcularon los sulfatos a partir de la curva de calibración para obtener la cantidad de interpolación. Por lo que se empleó la siguiente formula:

$$SO_4^{2-} \text{ (mmolc/L extracto)} = A * FD * 10$$

Donde:

A= mmol⁽⁻⁾ L⁻¹ calculados en la curva de calibración por interpolación.

FD= factor de dilución de la muestra (10).

10= factor de dilución de la curva (100/10).

Además, se calculó los cationes solubles por medio del método AS-19, el cual a través de la absorción atómica se encuentra el Ca y Mg, y a partir de un espectrofotómetro de flama Na y K, por lo que se empleó la siguiente formulas:

$$Ca, Mg \text{ solubles (mmolc/L extracto)} = \frac{(a - b) * d}{P_{eq}}$$

Donde:

a= mg/L de Ca²⁺, Mg²⁺ en la alícuota en el extracto.

b= mg/L cuantificado en el blanco.

d= factor de dilución utilizado.

P_{eq}= peso equivalente del elemento (Ca= 20.04, Mg= 12.15).

$$Na, K \text{ solubles (mmolc/L extracto)} = \frac{(a - b) * d}{P_{eq}}$$

Donde:

a= mg/L de Na²⁺, K²⁺ en la alícuota en el extracto.

b= mg/L cuantificado en el blanco.

d= factor de dilución utilizado.

Peq= peso equivalente del elemento ($\text{Na}^{2+}= 23$, $\text{K}^{2+}= 39.1$).

6.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa STATGRAPHICS Centurion XVI.I, en el cual se aplicó un análisis Anova de varianzas y pruebas de múltiples rangos con la prueba Tukey con un nivel del 95% de confianza, para determinar si existe estadísticamente diferencia significativa entre las variables.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Caracterización del humus de lombriz

Los resultados de las etapas primavera y verano en cuanto a la temperatura, se observó un promedio de 26.69°C ambas etapas, en la primavera el promedio fue de 26.89°C y en verano de 26.49°C, siendo todos los tratamientos aptos para un buen rendimiento de *E. foetida* para la producción de abono en ambas etapas. (Figura 20). La temperatura en los tratamientos no influyo significativamente, ($P < 0.05$), por lo que no existe diferencia estadística significativa. Como menciona Santis, 2014, los rangos de temperatura más aptos para la reproducción de *E. foetida* oscila entre los 18-28°C y de esta forma poder obtener un mejor rendimiento en la transformación de la materia orgánica en abono. Además Gabriel *et al*, 2011, indican que en el proceso de lombricompostaje la temperatura es un parámetro primordial para la aceleración de la actividad bioquímica, por lo que es importante el tipo de materia orgánica implementada como sustrato y alimento para las lombrices, obtuvieron en sus resultados que sus tratamientos con materia orgánica generaron una variabilidad de temperatura de 19.65°C, los cuales se encuentran dentro del lapso de grados centígrados aceptables para la reproducción de *E. foetida*.

En la etapa de primavera se registró una temperatura promedio de 26.89°C, en donde, el tratamiento (Vac) fue el que alcanzo una temperatura promedio mayor de 27.08°C, mientras que, en el tratamiento (Tes) un promedio de 26.65°C siendo el tratamiento con menor temperatura en comparación con los demás tratamientos, al ser las diferencias mínimas todos los tratamientos son adecuados en cuanto a la temperatura para *E. foetida*. Para la temperatura entre los tratamientos no existe diferencia estadística significativa (Figura 21).

Caso similar se observó en verano con una temperatura promedio de 26.49°C, en donde nuevamente el tratamiento (Vac) presento un promedio mayor de 26.8°C y en el tratamiento (Tes) un promedio menor de 26.24°C (Figura 22). En la temperatura entre los tratamientos no existe diferencia estadística significativa. Toccalino *et al*, 2004, obtuvieron una temperatura semejante en todas las estaciones del año a los parámetros requeridos por *E. foetida*, además el mayor rendimiento en reproducción se vio reflejado con la implementación de estiércol de bovino durante la primavera y verano; ya que se reguló mejor la temperatura en conjunto con un control de riego de humedad. Como menciona Uruchi, 2018, la producción de abono con estiércol de ovino, bovino y camélido son adecuadas en cuanto a la temperatura óptima para un buen rendimiento de *E. foetida*, pero indica que al obtener abono por medio de lombricultura en épocas de verano la temperatura tiende a ser muy alta, trayendo consigo consecuencias desfavorables para su rendimiento y afectando por consecuente la producción de abono, por lo que se recomienda un manejo de instalación de lombricultivos en áreas frescas.

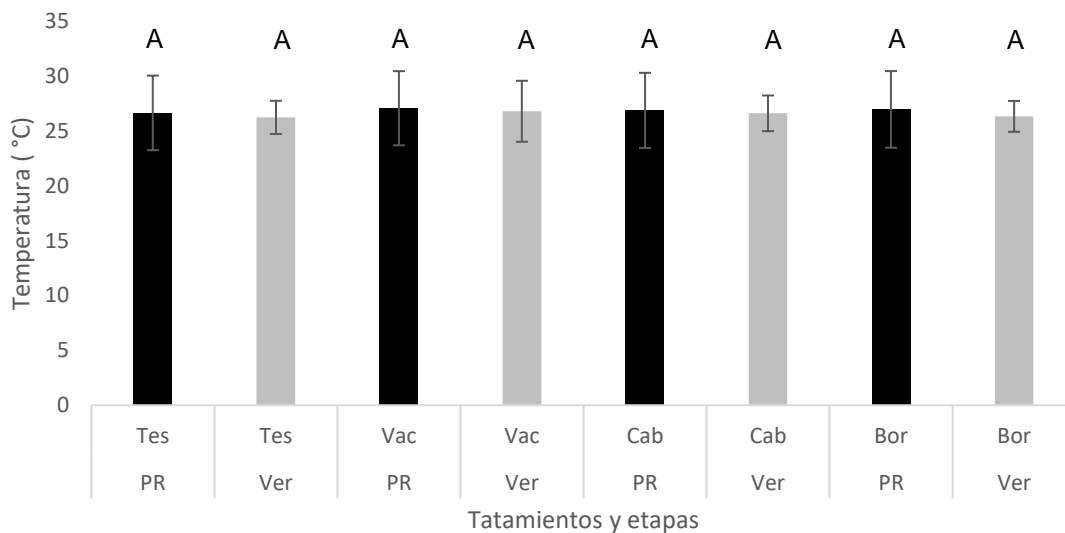


Figura 20 En la gráfica se muestra el promedio de la temperatura de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en las etapas (PR) primavera y (Ver) verano, no existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$), formándose el grupo A.

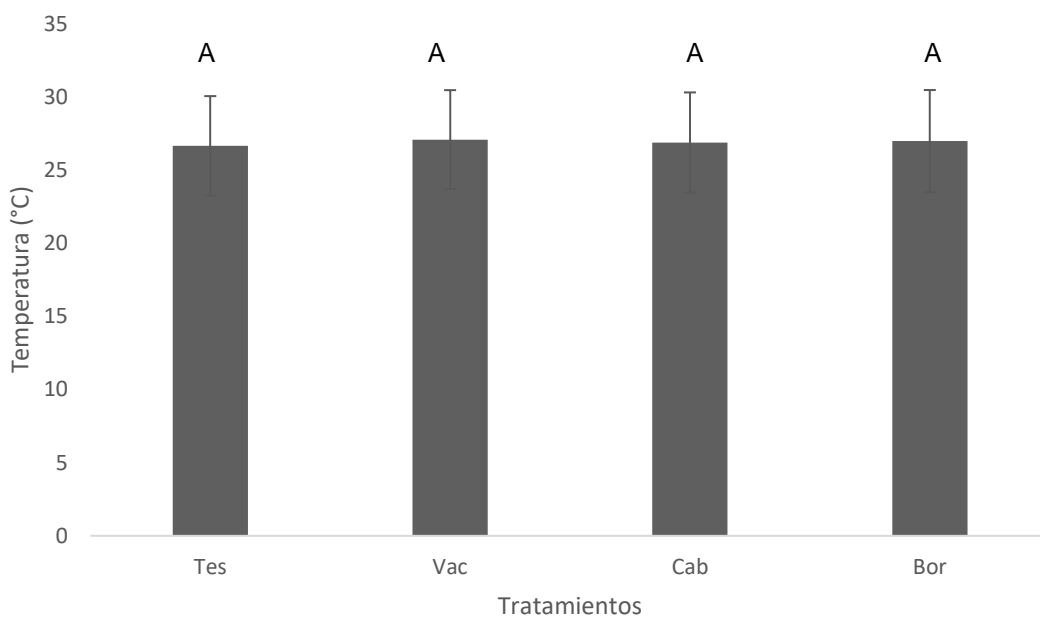


Figura 21 En la gráfica se muestra el promedio de la temperatura de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vaca) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en la etapa de (PR) primavera, no existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$), formándose el grupo A.

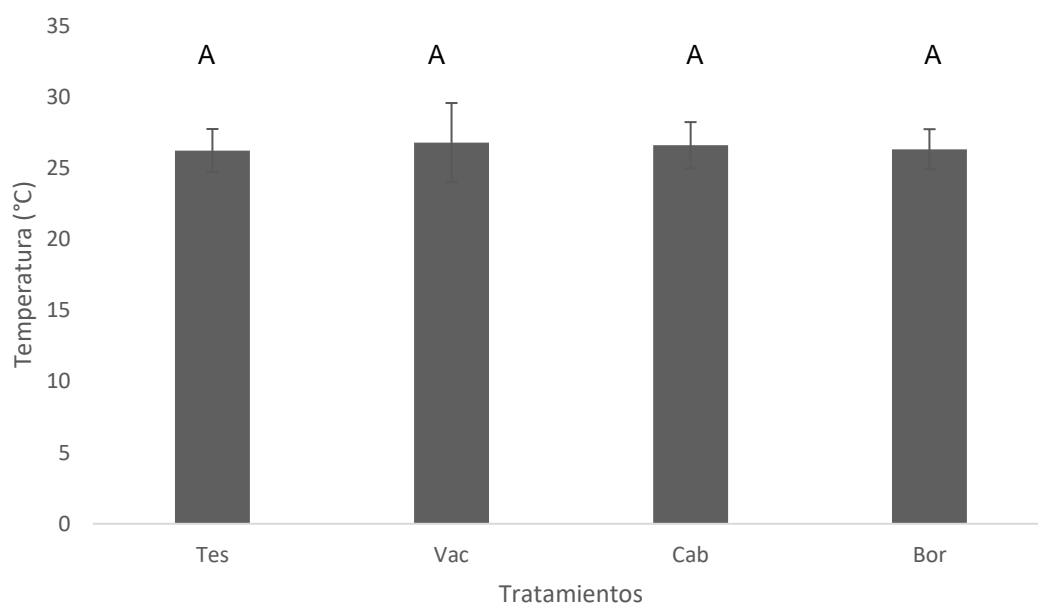


Figura 22 En la gráfica se muestra el promedio de la temperatura de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en la etapa de (Ver) verano, no existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$), formándose el grupo A.

En la variable de potencial de hidrogeno (pH) (Figura 23) se registró un promedio general de ambas etapas de 6.24, lo que indica que el experimento se mantuvo neutro. Sin embargo, en el periodo de primavera resultó ser ligeramente ácido, con un pH promedio de 5.82, esto se debe a que en esta época al ganado se le suministran sales minerales debido a sus requerimientos, mientras que en verano los tratamientos se neutralizaron teniendo un promedio 6.67. Como menciona Santis, 2014, observo que los tratamientos estudiados permanecieron en los rangos óptimos para el crecimiento de *E. foetida*. Es decir, entre 5.0 y 8.4 es en el que *E. foetida* llega a adaptarse. Resultados similares obtuvo Acosta-Durán *et al*, 2013, de un pH inicial de 6 en el precompostaje, el cual después con el procesamiento de lombricompostaje son semejantes los valores de pH implementando *Eisenia spp.* donde el pH llegó a 7. Por lo que resalta que el pH en el compostaje se relaciona con la materia orgánica composteada y en el proceso de lombricompostaje se obtienen principalmente pH alcalinos a causa de que la lombriz por medio de las glándulas de morren expulsa carbonato de calcio.

En la etapa de primavera se registró un pH promedio de 5.82, en donde, el tratamiento (Bor) presentó un promedio de pH de 6.03 y el tratamiento (Tes) un promedio de 5.68 mostrando una mayor diferencia estadística significativa (Figura 24). Estadísticamente el pH en los tratamientos sí influyó ($P < 0.05$), esto lo cual refleja que ambos tratamientos presentaron pH adecuado para la reproducción y manejo de *E. foetida*. Similar resultado obtuvo Cámara-Reyna *et al*, 2015, al implementar tratamientos con estiércol (caballo, borrego, gallina y vaca) y residuos de hortalizas con un pH entre 6.0 y 7.3 en todos los tratamientos

y al combinar todos los estiércoles con los residuos de hortalizas se registró un pH neutro.

En verano se obtuvo un pH promedio de 6.67, en el cual el tratamiento (Tes) se obtuvo un promedio mayor de pH de 6.76 y en el tratamiento (Cab) un promedio menor de pH de 6.56, por lo que todos los tratamientos se encontraron dentro del rango aceptado por *E. foetida* (Figura 25). Por lo que el pH en los tratamientos no influyó significativamente ($P < 0.05$). Como menciona Castro *et al*, 2016, con el estiércol de ovino mostrando un pH de 8.42, y es importante mencionar que *E. foetida* tiende a bajar su rendimiento en condiciones de sustratos ácidos.

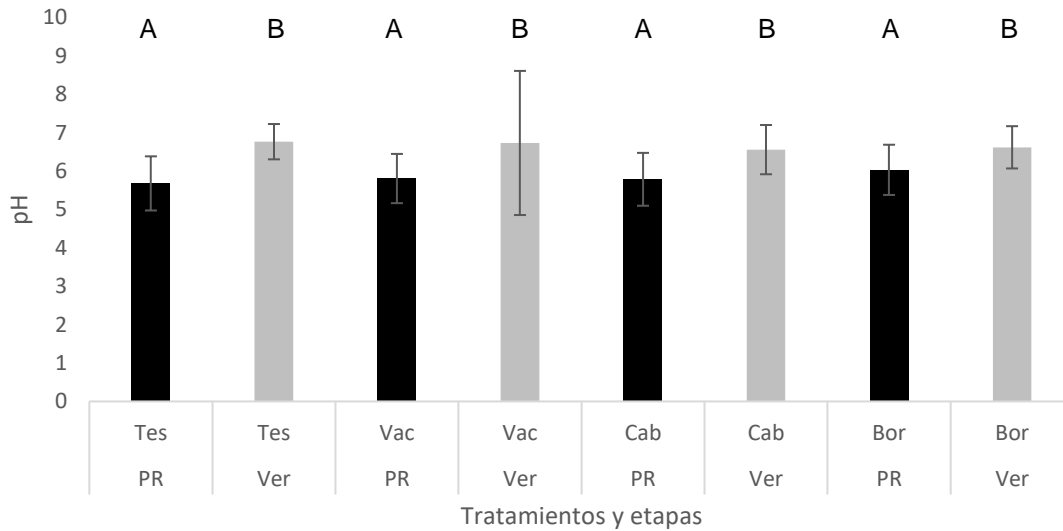


Figura 23 En la gráfica se muestra el promedio del pH de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en las etapas (P) primavera y (Ve) verano, si existe diferencia significativa ($P < 0.05$) formándose los grupos A y B.

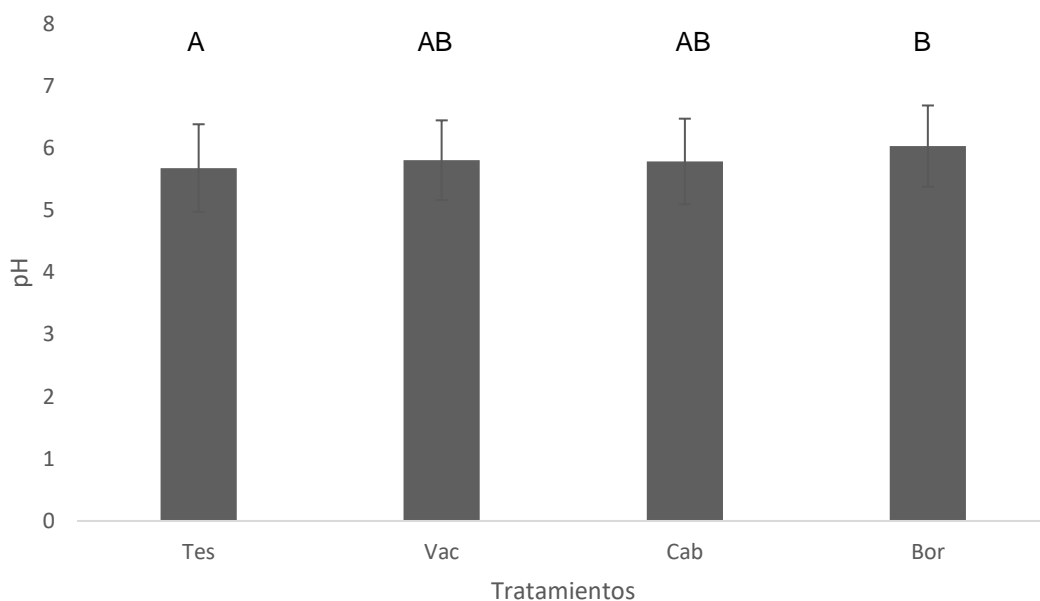


Figura 24 En la gráfica se muestra el promedio del pH de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en la etapa (PR) primavera, si existe diferencia significativa ($P < 0.05$) formándose los grupos A y B.

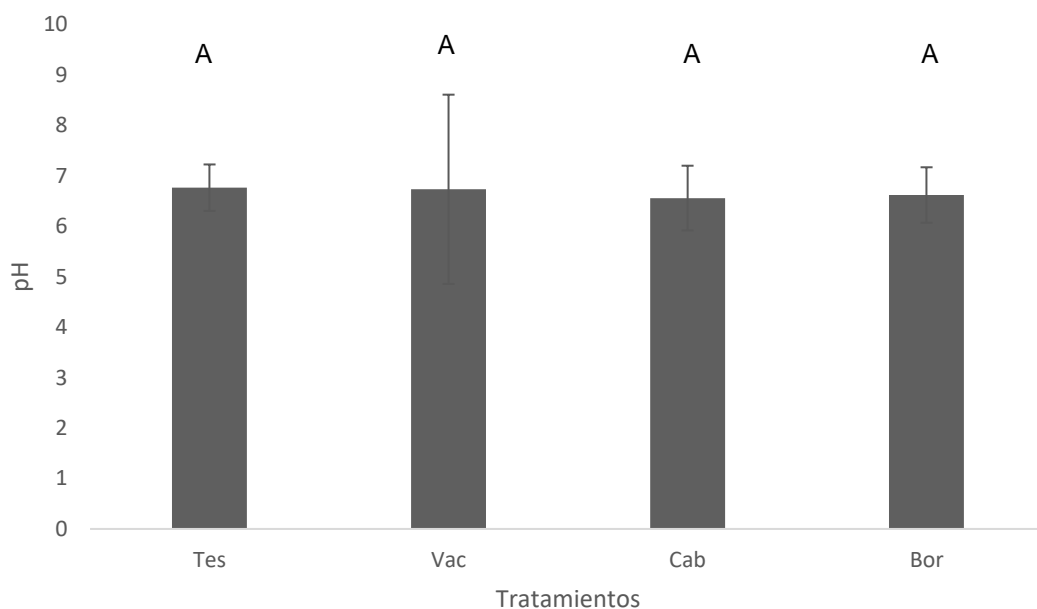


Figura 25 En la gráfica se muestra el promedio del pH de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en la etapa (Ver) verano, no existe diferencia significativa ($P < 0.05$), formándose el grupo A.

En la humedad durante todo el proceso de lombricompostaje, las etapas y tratamientos se mantuvieron en una escala 5 lo que equivale a más del 30% de

humedad en el sustrato (Figura 26, Figura 27 y Figura 28), encontrándose los tratamientos dentro del rango requerido por *E. foetida* para su manejo. Sánchez, 2020, obtuvo resultados similares al aplicar en un tratamiento 100% de estiércol ovino y otro tratamiento con 75% estiércol ovino y 25 % Alfalfa la mejor capacidad de humedad. De acuerdo con Garrido, 2014, en la lombricomposta la humedad es un parámetro que se relaciona con el rendimiento y reproducción de *E. foetida*, siendo de un 70 a 80% el rango de humedad en el que mejores condiciones se adapta, con un rango de humedad favorable se tiene un mejor control de plagas, además se garantiza que la lombriz tenga un mejor desplazamiento por el sustrato utilizado y una aireación favorable para que aproveche y transforme al 100% los residuos orgánicos y sustratos implementados. Como menciona Eulloque, 2013, obtuvo resultados similares durante el proceso de lombricompostaje con la implementación de residuo ruminal bovino un índice de humedad favorable del 80% para el rendimiento de *E. foetida*.

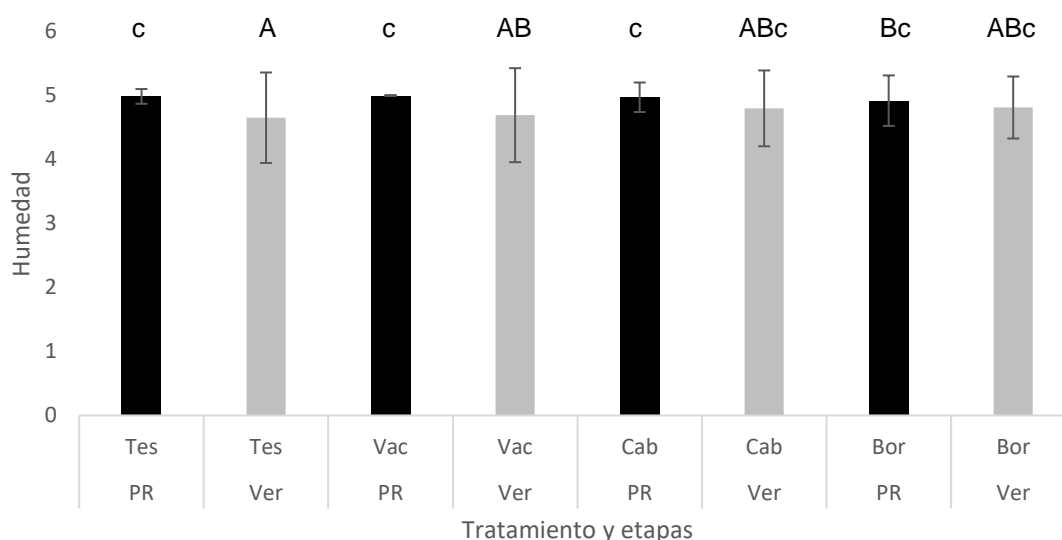


Figura 26 En la gráfica se muestra el promedio de la escala de humedad de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en las etapas (PR) primavera y (Ver) verano, si existe diferencia significativa ($P < 0.05$) formándose los grupos A, B, c. Escala: (Muy Seco $< 5\%$ =1), (Seco 5-10% =2), (Normal 10-20% =3), (Húmedo 20-30% =4) y (Muy húmedo $> 30\%$ =5).

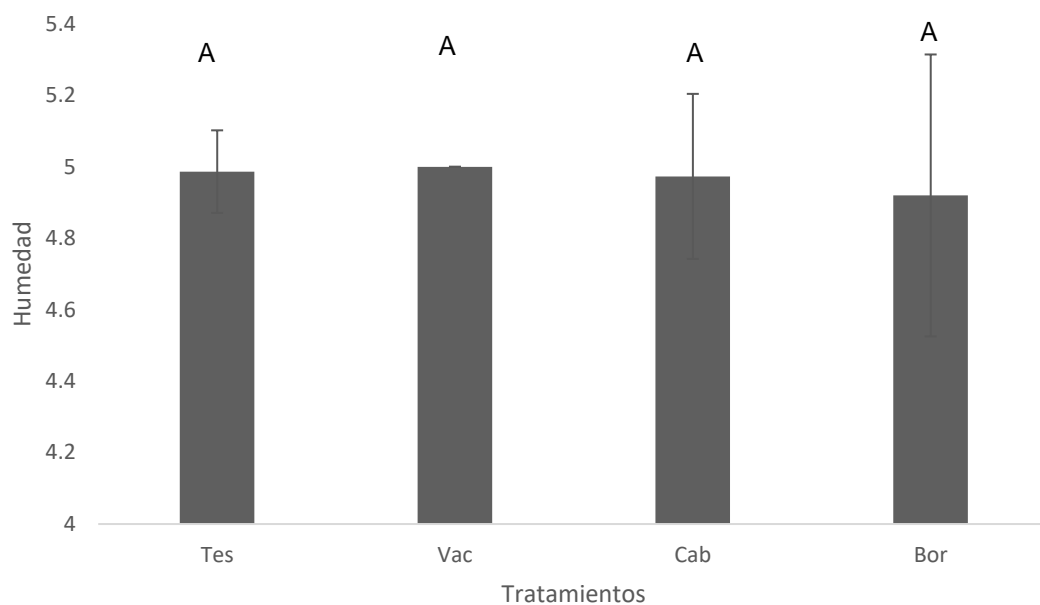


Figura 27 En la gráfica se muestra el promedio de la humedad de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en la etapa (PR) primavera, no existe diferencia significativa ($P < 0.05$). Escala: (Muy Seco $< 5\%$ =1), (Seco 5-10% =2), (Normal 10-20% =3), (Húmedo 20-30% =4) y (Muy húmedo $> 30\%$ =5), formándose el grupo A.

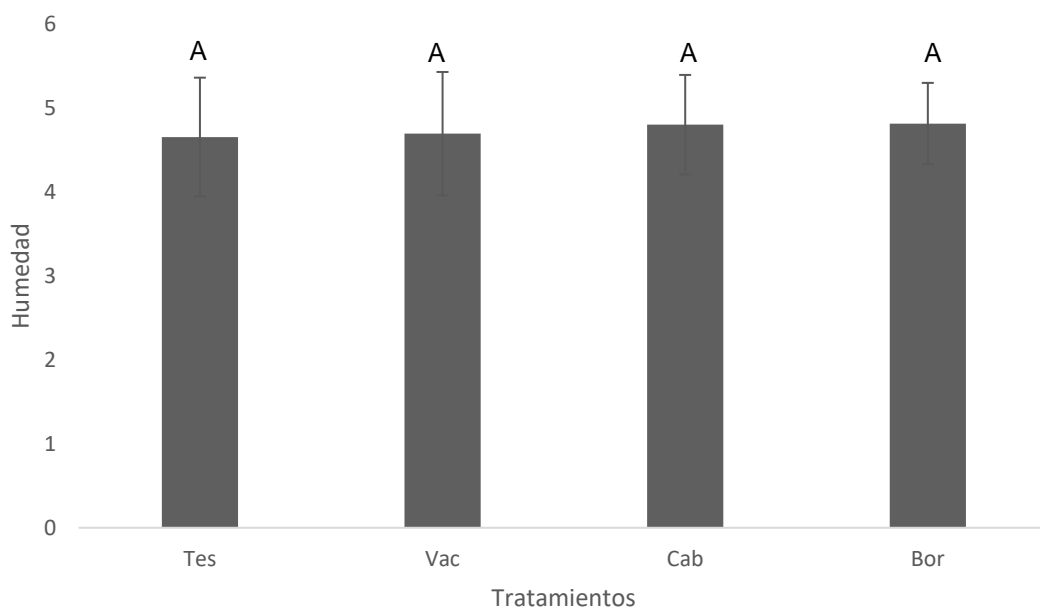


Figura 28 En la gráfica se muestra el promedio de la humedad de tres repeticiones con su desviación estándar en el (Tes) testigo de tierra, (Vac) tratamiento 1 de bovino, (Cab) tratamiento 2 de equino, (Bor) tratamiento 3 de ovino, en la etapa (Ver) verano, no existe diferencia significativa ($P < 0.05$). Escala: (Muy Seco $< 5\%$ =1), (Seco 5-10% =2), (Normal 10-20% =3), (Húmedo 20-30% =4) y (Muy húmedo $> 30\%$ =5), formándose el grupo A.

7.2 Caracterización fisicoquímica de abono de lombriz

La implementación de diferentes abonos orgánicos, en particular el abono producido como resultado de la lombricomposta, presenta un efecto benéfico, aporta gran cantidad de macro y micronutrientes al suelo y plantas, está relacionado de manera directa con los procesos de elaboración, tiempo de almacenaje y humedad (López-Mtz *et al*, 2001). La humedad como un parámetro físico es de suma importancia. Al comparar los análisis fisicoquímicos el tratamiento (Bor) resulto tener el mayor porcentaje de humedad (%W) en primavera y verano con 26.18 y 42.13 respectivamente (Tabla 6). Como mencionan Moreno-Reséndez *et al*, 2013, al aplicar vermicompost al 3% se reduce el estrés por falta de humedad en el suelo y plantas teniendo consigo un impacto benéfico en la productividad de las plantas, además indican que como sustrato el abono de lombricomposta la humedad aumenta con el transcurso de los días de su implementación. Por lo tanto, un abono orgánico es eficaz si presenta 25% - 35% de agua en el área porosa del sustrato, basado en lo antes mencionado el tratamiento de borrego resulta ser ideal en las dos etapas del experimento.

El pH es un elemento fundamental para asegurar la existencia y aprovechamiento de los macros y micro nutrientes en las plantas (Pérez, 2016). Los resultados de los análisis mostraron que existe una similitud en la media del pH KCl la cual varía de 7.84 a 8.35 sin existir estadísticamente diferencias significativas entre los tratamientos y las etapas del experimento ($P < 0.01$) por lo cual de acuerdo a los análisis se puede determinar que los tratamientos son ligeramente alcalinos. Como mencionan Zanor *et al*, 2018, obtuvieron en la lombricomposta de bovino un pH alcalino, el cual se vincula con la transpiración del carbonato de calcio amorfo derivado de la actividad digestiva de la lombriz.

Por su parte, el porcentaje de carbono orgánico, resulto ser más abundante en tratamiento (Vac) en los dos periodos del experimento con 13.29% y 11.60%, seguido del tratamiento (Bor) 12.39% y 8.81% para primavera y verano, finalmente el tratamiento (Cab) resulto ser el que menor porcentaje de carbono orgánico registro con 11.31% en primavera y 7.98% para verano. El % C orgánico de un sustrato como fertilizante u abono es de gran relevancia para el suministro de energía para sustentar las diferentes actividades del suelo y plantas (Costantini *et al*, 2010). En ambientes no alterados, el C orgánico del suelo se obtiene al tener un equilibrio al agregar componentes orgánicos al mismo y al momento del escape de C del suelo al ambiente convertido en CO₂ (Martínez *et al*, 2008).

Así mismo se analizó el porcentaje de materia orgánica de cada uno de los tratamientos al ser este un componente importante para los ciclos biológicos de las plantas. Resultado de estos análisis se obtuvo que el tratamiento (Vac) mostro la mayor cantidad de MO, con un 22.92% y 19.99% en verano, mientras que el tratamiento (Bor) obtuvo 21.36% y 15.18% en cada una de las etapas, finalmente el tratamiento (Cab) resulto ser el que menor porcentaje de materia orgánica registro con 29.49% y 13.75%. La MO está constituida por el C orgánico, además está integrada por una parte que conserva sus propiedades

químicas y húmica que alberga ácidos fúlvicos, húmicos y huminas (Martínez *et al*, 2008). Como menciona Ríos, 2021, al utilizar lombricomposta de lirio acuático con estiércol de vaca se obtuvo 50.6 % de MO, por lo que resaltan que una lombricomposta al presentar el 30% de MO, para su elaboración se implementó distintos residuos orgánicos y minerales. Ya que el rango apto de MO contenida de un sustrato debe oscilar entre el 80%. Como también mencionan Castillo *et al*, 2000, obtuvieron 29.72% de MO siendo el registro mayor al utilizar estiércol vacuno al 100 %, además refieren que de las lombricompostas generalmente resultan un abono óptimo de MO.

7.2.1 Determinación química de nutrientes (aniones y cationes)

Las plantas requieren en distintas cantidades los elementos para sus diferentes funciones (Kyrkby y Volker, 2007). Para este trabajo se determinaron los valores de aniones y cationes solubles (primavera y verano), los cuales se pueden observar en la (Tabla 7) en la que destacan principalmente nitritos (NO₂⁻) como el nutriente con mayor porcentaje en mg/Kg suelo, seguido de nitratos y sulfatos, mientras que los componentes con menor porcentaje en mg/kg suelo fueron el sodio, magnesio y Calcio.

Respecto a Sodio (Na) los porcentajes más altos se observaron en el tratamiento de caballo 19.29 y 6.57 mg/Kg suelo en verano y primavera. Los abonos orgánicos con sodio son de gran importancia, ya que este elemento contribuye al crecimiento vegetal de los cultivos y, además en ciertas ocasiones puede sustituir procesos del potasio e incrementar su volumen seco. Es por ello, que al aplicar abonos orgánicos con presencia de sodio se ha logrado en plantaciones de relevancia económica un equilibrio hídrico y en plantas forrajeras mayor aprovechamiento como alimento para el ganado (Rodríguez y Flórez, 2004).

El potasio (K) es uno de los nutrientes con presencia en todos los tratamientos, principalmente en el de caballo con porcentajes mayores en verano y primavera 96.23 y 41.08 mg/ Kg suelo. El K es aprovechado a través de las raíces almacenándose y de tal forma participa en el balance de la presión osmótica. Se relaciona con funciones principales de la fotosíntesis y en la transferencia de carbono a diferentes zonas de la planta. Además, es importante su presencia ya que se puede transportar del suelo a las plantas con mayor facilidad que otros nutrientes (Macz, 2013).

El calcio (Ca) es un nutriente que se presentó en cantidades más altas en el tratamiento testigo (a base de tierra negra) con porcentajes de 56.07 y 8.84 mg/Kg suelo en verano y en primavera, el calcio disponible para el suelo de manera apta es del 60 al 80 %, del cual los cultivos solo utilizan 3 %. Las plantas contienen a nivel celular calcio en distintas concentraciones, debido a que depende de la cantidad de intercambio catiónico y tiene gran importancia en los abonos, por lo que se favorece el desarrollo de las raíces y pelillos radiculares de las plantas lo que permite distribuirse en un área (Monge *et al*, 1995).

Para el Magnesio (Mg) se encontró en todos los tratamientos y en las dos etapas del experimento principalmente en el testigo con 26.43 y 4.84 en verano y primavera, este componente contribuye en las plantas principalmente en la

clorofila y en la fotosíntesis. Además, es el encargado de controlar el pH y turgencia de los cultivos. Otra de sus funciones principales es aumentar la disponibilidad de los nutrientes y agua en las raíces (Ross, 2004).

De tal forma se mostró mayor concentración en el Cloro (Cl) en el tratamiento de vaca 569.35 y 571.37 mg/Kg suelo respectivamente en verano y primavera. Por lo que la presencia de Cl en los abonos es de gran importancia, debido a que contribuye en los cultivos participando en la regulación osmótica y en la producción celular de las plantas (Rodríguez y Florez, 2004).

Posteriormente en los nitritos se mostró mayor concentración en el testigo 1926.75 y 7479.16 mg/Kg suelo respectivamente en verano y primavera. Respectivamente en los nitratos resulto el tratamiento testigo 788.36 mg/Kg suelo en verano y con 324.97 mg/Kg suelo en primavera en el tratamiento de vaca. Los nitritos y nitratos son el resultado de la nitrificación del nitrógeno, debido a esto, son importantes en los abonos para la asimilación de proteínas que intervienen en el desarrollo de los vegetales (Chávez, 2014). De tal forma que la presencia de nitratos en los abonos para su aprovechamiento por los cultivos es mediante la biomasa de la planta (Cerón y Aristizábal, 2012).

Por ultimo la presencia de sulfatos fue en el tiramiento de vaca 687.76 mg/Kg suelo en verano y en el de caballo con 811.77 mg/Kg suelo en primavera. La presencia de sulfatos en suelos se encuentra generalmente en zonas agrícolas por la práctica de agroquímicos en los cultivos y por medio de la filtración llegan al suelo (Chávez, 2014). Los sulfatos en las plantas resultan del procesamiento del azufre, para que intervenga en el rendimiento del nitrógeno en los cultivos. (Rincón *et al*, 2012).

Como refieren Hernández-López, M, *et al* 2020, obtuvieron resultados similares mediante el cual la lombricomposta de vaca genero mayor porcentaje de potasio con 0.50%, asimismo fue el tratamiento que resulto con niveles más altos de hierro con 545 mg/kg y de zinc con 304.85 mg/ kg, en comparación con los tratamientos de caballo y cabra.

Además, Rios, 2021, tuvieron la presencia de fosforo y potasio con 1.77 y 3 % al manejar estiércol de bovino y lirio acuático, para el calcio mantuvieron niveles de 4.15 %, y mencionan que es importante tener una concentración optima en una lombricomposta del 11% asimismo para los niveles de magnesio, además en el manganeso resultaron 741 ppm desatancando que los niveles deben oscilar entre un rango de 0.02 y 3 ppm.

Como menciona Chicaiza, 2007, los humus de lombriz que presentaron mayor presencia en Nitrógeno y potasio el de vaca en fosa con 1.54 y 1.74 %, para el fosforo el de cabra en caja presento mejor porcentaje con 1.03. Por lo que el humus de cabra en caja obtuvo el 1.76, 0.55 en calcio y magnesio respectivamente. Resaltando que el humus de cabra producido en caja presenta mayor concentración de nutrientes seguido del de vaca en fosa.

Tabla 6 Características físicas de los abonos producidos por lombricultura.

Tratamientos	Etapa	Humedad (%W)		pH KCl		%C org		% MO	
		Media	Desv. Estan- dar	Media	Desv. Estan- dar	Media	Desv. Estan- dar	Media	Desv. Estan- dar
Bor	P	26.18	±3.24	7.84	±0.09	12.39	±1.53	21.36	±2.65
	Ve	42.13	±3.85	8.23	±0.06	8.81	±0.32	15.18	±0.56
Vac	P	17.09	±0.37	8.28	±0.01	13.29	±0.32	22.92	±0.55
	Ve	26.13	±6.46	8.24	±0.14	11.60	±1.24	19.99	±2.13
Cab	P	22.02	±3.10	8.25	±0.03	11.31	±0.74	19.49	±1.28
	Ve	26.53	±9.25	8.35	±0.08	7.98	±1.32	13.75	±2.29
Tes	P	7.81	1.36	7.81	0.11	7.79	0.24	4.62	0.38
	Ve	12.13	5.32	7.55	0.15	7.54	0.12	4.57	0.2

Tabla 7 Características químicas de los abonos producidos por lombricultura

Etapa	Abono	Na	K	Ca	Mg	Cl	NO ₂ -	NO ₃ -	S04 ²⁻
		mg/Kg suelo	mg/Kg suelo	mg/Kg suelo	mg/Kg suelo	mg/Kg suelo	mg/Kg suelo	mg/Kg suelo	mg/Kg suelo
Ver	Bor	5.60	24.03	2.96	1.27	140.51	127.99	123.86	181.27
Ver	Cab	19.29	96.23	11.51	14.17	348.24	981.67	330.06	674.93
Ver	Tes	11.68	26.60	56.07	26.43	236.08	1926.75	788.36	248.53
Ver	Vac	10.86	41.37	2.32	1.18	569.35	596.12	211.34	687.76
PR	Cab	6.57	41.08	3.79	2.34	571.37	2988.43	184.86	811.77
PR	Vac	5.72	31.14	3.08	1.59	364.89	5341.02	324.97	486.50
PR	Bor	3.09	17.94	4.01	1.60	245.15	5025.06	196.84	218.13
PR	Tes	2.15	6.46	8.84	4.84	161.48	7479.16	42.53	195.36

8. CONCLUSIÓN

Durante el proceso de transformación de residuos orgánicos por medio de la lombricomposta, todos los parámetros fueron adecuados para el desarrollo de *E. foetida*, lo cual se reflejó en la cantidad de abono producido y el rendimiento de las lombrices. Así mismo en la calidad fisicoquímica de cada uno de los tratamientos, la temperatura, pH y humedad se lograron mantener adecuadas en las dos etapas del experimento y en todos los tratamientos. Por lo cual un buen manejo de la lombricomposta será de suma importancia para obtener abonos de calidad.

Los abonos como resultado del lombricompostaje lograron tener características físicas muy importantes como el porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico y pH, en ese sentido el tratamiento a base de estiércol de vaca resultó ser el que mayores porcentajes de estos parámetros tuvo, con excepción de la humedad la cual se registró en mayor porcentaje en el tratamiento de estiércol de borrego.

Químicamente los abonos producidos en todos los tratamientos registraron gran diversidad de elementos químicos entre los que destacan el sodio y potasio en el tratamiento de caballo en verano. Por lo tanto, es importante su presencia en abonos de lombricomposta, debido a que son esenciales en la fotosíntesis, desarrollo, rendimiento y otros procesos celulares de las plantas.

9. REFERENCIAS

Acosta-Durán, Carlos, Solís-Pérez, Ofelia, Villegas-Torres, Oscar Gabriel. y Vigueros, Lina. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. Agronomía Costarricense. Vol. 37. Núm. 1. Pág: 127-139.

Aguiñaga-Bravo, Arturo., Medina-Dzul, Kati., Garruña-Hernández, René., Latournerie-Moreno, Luis. y Ruíz-Sánchez, Esaú. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). Acta Universitaria. Vol. 30. Pág: 1-14.

Alas, Roberto. y Alvarenga Hernández, Ana Milagro Rocío. (2002). Evaluación de sustratos de origen animal y vegetal en la producción de humus y carne de lombriz (*Eisenia foetida*). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad De El Salvador.

Arias, Claudia. (2004). "Lombricultura" Tesis de Licenciado en Biología. Universidad de Guadalajara.

Ayma, Sixto. (2020). Análisis comparativo de diferentes fuentes de estiércoles y su efecto combinado en la elaboración de humus de lombriz (*Eisenia foetida*). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad José Carlos Mariátegui.

Báez, José. y Marín López, José Roberto. (2010). Evaluación de una mezcla de abonos orgánicos versus fertilización sintética sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), El Plantel, Masaya, 2009. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria.

Báez, José. y Marín López, José Roberto. (2010). Evaluación de una mezcla de abonos orgánicos versus fertilización sintética sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), El Plantel, Masaya, 2009. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria. En Arnesto, G. y Benavides, A. (2003). Evaluación del efecto de la fertilización mineral y orgánica (Gallinaza) en el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz (*Zea mays L.*) var. NB-6. Tesis UNA.

Baltierra, Froilan. (2003). Capacidad reproductiva de la lombriz de tierra (*Eisenia Sp.*) En una unidad vermicola. Tesis de Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Antonio Narro.

Beltran, Abisai. (2015). Producción del germinado de maíz para forraje en cinco fechas de cosecha. Informe Técnico de Residencia Profesional de Ingeniero Agrónomo. Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de la Zona Maya.

Benavides, Exequiel. (2019). Rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja), cultivar amarilla redonda, con tres dosis de humus y tres niveles de bioestimulante foliar". Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Cajamarca.

Briceño, Abigahil. y Pérez, Alodya. (2017). Utilización del humus Lombriz Roja Californiana (*EISENIA FOETIDA*) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café, finca Santa Dolores, Municipio el Crucero, enero-junio 2016. Tesis de Química Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

Brito-Vega, Hortensia. y Espinosa-Victoria, David. (2009). Bacterial Diversity in the Digestive Tract of Earthworms (*Oligochaeta*). Journal of Biological Sciences. Vol. 9. Núm. 3. Pág: 192-199.

Brito-Vega, Hortensia. y Espinosa-Victoria, David. (2009). Bacterial Diversity in the Digestive Tract of Earthworms (*Oligochaeta*). Journal of Biological Sciences. Vol. 9. Núm. 3. Pág: 192-199. En Horn, Marcus A., Schramm, Andreas. y Drake Harold L. (2003). The Earthworm Gut: an Ideal Habitat for Ingested N₂O-Producing Microorganisms. American Society for Microbiology. Vol. 69. Pág: 1662-1669.

Cajas, Sonia. (2009). Efecto de la utilización de aserrín en combinación con estiércol de bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz *Eisenia foétida* (Lombriz Roja Californiana). Tesis de Ingeniero Zootecnista. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Cajas, Sonia. (2009). Efecto de la utilización de aserrín en combinación con estiércol de bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz *Eisenia foétida* (Lombriz Roja Californiana). Tesis de Ingeniero Zootecnista. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En Compagnoni, L. y Putzolu, G. (1995). Cría moderna de las lombrices y utilización rentable humus. Barcelona, España. Edit. Vecchi. Pág: 43.

Cámara-Reyna, J.C. Ruíz, M.E. y Palma-López, D.J. (2015). Calidad de vermicompostas elaboradas con diferentes estiércoles domésticos. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Universidad Popular de la Chontalpa. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Campoverde, Diana Katherine., Velasco Matveev, Luis Antonio. y Acurio Martínez, Washington David. (2020). Aplicación de sustratos orgánicos en la cría de la lombriz roja californiana (*eisenia foetida*) para la producción de alimento animal. Educación & Virtual. Vol. 3. Núm. 3.1. Pág: 22-35.

Candelaria, Mónica., Navarro Espinosa, Martha Guadalupe., Velázquez López, Claudia Nayeli. y Velázquez López, Judith. (2013). Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. Estudios Agrarios. Pág: 217-225.

Cantarero, Rodrigo. y Martínez, Omar Alejandro. (2002). Evaluación de tres tipos de fertilizante (gallinaza, estiércol vacuno, y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Variedad NB-6. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria.

Cárdenas, Gabriela. (2005). La lombricultura: perspectivas de la producción y comercialización, aplicación en la provincia de Pichincha. Tesis de Ingeniera Comercial. Universidad Politécnica Salesiana-Sede Quito.

Castillo, Alicia., Quarín, Silvio H. y Iglesias, María C. (2000). CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE COMPOST DE LOMBRICES ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PUROS Y COMBINADOS. Agricultura Técnica. Vol.60. Núm. 1. Pág: 74-79.

Castro, Verónica., Retureta Aponte, Alejandro., Vázquez-Luna, Dinora. y Velázquez Silvestre, María Gisela. (2016). Comportamiento poblacional de *Eisenia foetida* y calidad fisicoquímica del humus en diferentes sustratos del trópico húmedo. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan. Vol. 4. Núm. 2. Pág: 30-36.

Cerón, Laura E. y Aristizábal Gutiérrez, Fabio Ancízar. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. 14. Núm. 1. Pág: 285-295.

Cervantes, Tomás; Fortis Hernández, Manuel., Trejo Escareño, Héctor Idilio., Vázquez Vázquez, Cirilo., Gallegos Robles, Miguel Ángel. y García Hernández, José Luis. (2018). Fertilización química y orgánica en la producción de sandía en el norte de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. Especial. Núm. 20. Pág: 4263-4275.

Chávez, Guillermo A. (2014). Probables efectos de las aguas residuales de la Ciudad de Cajamarca en el sistema agua-suelo-planta de los caseríos de la Victoria, Yanamarca y La Colpa. Tesis de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.

Chicaiza, Juan. (2007). Producción de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lombrihumus con estiércol de vaca, cabra, cerdo y caballo. Tesis de Licenciado Ingeniero Agrónomo. ZAMORANO.

Condori, Manuel. (2014). Influencia del humus de lombriz en el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum*) variedad única en la zona Yunga- La Cantuta durante el año 2011. Tesis de Licenciado en Educación. Universidad Nacional de Educación.

Costantini, A., Alvarez, C., Álvarez, C. R., Martellotto, E., y Lovera, E. (2010). Uso de la relación de estratificación del carbono orgánico como indicador de efectos del manejo sobre el suelo y el secuestro de carbono. In Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario–Argentina.

Cruz, Minervo. (2005). Reproducción de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) en sustratos orgánicos pecuarios. Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En Reinecke, A.J. y Viljoen, S.A. (1991). A comparison of the biology of *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*). Biol Fertil Soils. Vol. 11. Pág: 295–300.

Delfín, María. (2007). La lombricultura como alternativa de diversificación para elevar la rentabilidad y el desarrollo sustentables de los agronegocios en el municipio de El Marqués, Querétaro. Tesis de Maestro en Administración. Universidad autónoma de Querétaro.

Delgado, Alamiro. (2007). "Dosis de humus de lombriz (*Eisenia foetida*) y su respuesta en la producción de biomasa y el rendimiento en el cultivo de habitas (*Phaseolus coccineus*), en San Martín-Perú" Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Martín-Tarapoto.

Del Puerto, Asela M., Suárez Tamayo, Susana. y Palacio Estrada, Daniel E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Vol. 52. Núm. 3. Pág: 372-387.

Doria, Estefany. (2020). Dosis de humus de lombriz en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) variedad americana en condiciones agroecológicas de Panao – Huanuco – 2019. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Hermilio Valdizán-Huánuco.

Durán, Lolita. y Henríquez, Carlos. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense. Vol. 33. Núm. 2. Pág: 275-281.

Durán, Lolita. y Henríquez, Carlos. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense. Vol. 31. Núm. 1. Pág: 41-51.

Eulloque, Jesús. (2013). Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompostaje de *Eisenia foetida* obtenido del contenido ruminal bovino. Tesis de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable. Instituto Politécnico Nacional.

Espinoza, Yusmary., Hernández Z, Marcos J., Barrera Ch, Teresa V. y Obispo, Néstor E. (2009). Efecto de la alimentación animal sobre la calidad microbiológica de estiércoles usados como fertilizantes. Zootecnia Tropical. Vol. 27. Núm. 2. Pág: 151-161.

Félix-Herrán, Jaime., Sañudo-Torres, Rosario Raudel., Rojo-Martínez, Gustavo Enrique., Martínez-Ruiz, Rosa. y Olalde-Portugal, Víctor. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai. Vol. 4. Núm. 1. Pág: 57-67.

Gabriel, Paco., Loza-Murguía, Manuel., Mamani, Francisco. y Sainz, Humberto. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Journal of the Selva Andina Research Society. Pág: 24-39.

Garrido, Rina. (2014). "Efecto de catorce sustratos para la producción de humus de lombriz roja (*Eisenia foetida*)". Tesis de Ingeniero en Recurso Naturales Renovables Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Gastón, Jessaily., Martínez, Marcos Miguel. y Cordón Suárez, Enrique. (2008). Evaluación de la eficacia de cuatro dietas alimenticias sobre el crecimiento, desarrollo y producción de abono de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). CIENCIA E INTERCULTURALIDAD. Núm. 2, Pág: 66-81.

Ginés, Irantzu. y Mariscal-Sancho, Ignacio. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Fertiberia S.A. Pág: 1-9.

Gutierrez-Miceli, F. A., Moguel-Zambudio, B., Abud-Archila, M., Gutierrez-Oliva, V. F. y Dendooven, L. (2008). Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. *Bioresource Technology* 99:7020-7026. En Hernández, Ulises. (2015). Evaluación de sustratos en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Nayarit.

Hernández-López, M., Vidaña-Martínez¹, S.A. y Velasquez-Chavez, T.E (2020). Características químicas y microbiológicas de vermicomposta producida en el ITSL. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*. Vol. 1. Pág: 35-39.

Hernández-Rodríguez, Ofelia Adriana., Hernández-Tecorral, Ana., Rivera-Figueroa, César., Arras-Vota, Ana María. y Ojeda-Barrios, Dámaris. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*. Vol. 31. Núm. 1. Pág: 35-46.

Hickman, Cleveland., Roberts, Larry S., Keen, Susan L., Larson, Allan., l'Anson, Helen. y Eisenhour, David J. (2008). INTEGRATED PRINCIPLES OF ZOOLOGY, FOURTEENTH EDITION. ISBN 978-0-07-297004-3

Huerta-Muñoz, Elena., Cruz-Hernández, Javier. y Aguirre-Álvarez, Luciano. (2019). La apreciación de abonos orgánicos para la gestión local comunitaria de estiércoles en los traspatios. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. Vol. 29. Núm. 53. Pág: 1-20.

Izquierdo, Juan. (2017). Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Izar, Jorge. y Izar Landeta, Juan Manuel. (2014). Lombricultura, una opción sustentable de producción de alimentos para el campo mexicano. Pág: 1-31.

Kyrkby, E. y Römheld, V. (2007). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. Pág: 1-21.

Loza, Juana. (2000). Dinámica poblacional de la lombriz Roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972) en la planta piloto de lombricultura del centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias (C.U.C.B.A.). Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad de Guadalajara.

López-Fuentes, José., Ortiz-Torres, Enrique., Carranza-Cerda, Ignacio., Argumedo-Macias, Adrián. y Rueda-Luna, Rolando. (2017). Adopción de la lombricultura en mujeres indígenas de la Mixteca Alta Oaxaqueña, México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*. Vol. 14. Núm. 2. Pág: 283- 301.

López-Mtz, José., Díaz Estrada, Antonio., Martínez Rubin, Enrique. y Valdez Cepeda, Ricardo D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas

y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana. Vol. 19. Núm. 4. Pág; 293-299.

Ludeña, Verónica. (2009). Eficiencia del purín de cerdo como abono orgánico, sobre cultivos de *Zea mays*, en el Cantón Piñas, Provincia, De El Oro. Tesis de Biólogo. Universidad del Azuay.

Luján, Yelder. (2018). Efecto de tres dosis de “humus de lombriz” *Eisenia foetida* (*Lumbricidae*) y tres dosis de estiércol de “Vacuno” *Bos taurus* (*Bovidae*) en el rendimiento del cultivo de “Papa” *Solanum tuberosum* L. (*Solanaceae*) var. Serranita en la Provincia Otuzco - Región La Libertad – Perú. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Privada Antenor Orrego.

Luna, Hugo. y Suzán Azpiri, Humberto. (2016). El clima actual en el estado de Querétaro. En W. Jones, R. y Serrano Cárdenas, Valentina. (Eds), Historia Natural de Querétaro. Pág: 55-65. DZIBAL.

Luna-Vega, Alicia., García-Sahagún, María Luisa., Rodríguez-Guzmán, Eduardo. y Pimienta-Barrios, Enrique. (2016). Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (*Zea mays* L.). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. Vol. 3. Núm. 8. Pág: 46-52.

Macz, Jhony. (2013). “Comparacion de lombrihumus elaborado con estiércol bovino, equino y caprino en terminos de rendimiento y contenido de N-P-K”. Tesis de Zootecnista. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Martínez, Eduardo., Fuentes E, Juan Pablo. y Acevedo H, Edmundo. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. Vol.8. Núm.1. Pág: 68-96.

Martínez, Luis. (2004). “Efecto de la densidad de siembra de lombriz Coqueta roja (*Eisenia foetida*), en pulpa de café, sobre los aspectos productivos y reproductivos”. Tesis de Licenciatura en Zootecnia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Martínez, Rosa., Rojo Martínez, Gustavo E., Ramírez Valverde, Benito. y Juárez Sánchez, José Pedro. (2013). Estudios y Propuestas para el Medio Rural. TOMO VIII. Primera edición. En Rodríguez-Ruiz, Francisco. y Díaz-Ruiz, Ramón. (2013). Tecnología del vermicomposteo para la producción de abonos orgánicos de estiércol de vaca, borrego y conejo. Pág: 131-142.

Mazariegos, Santiago. (2018). Lombricultura rústica como alternativa para el aprovechamiento de los desechos agropecuarios en los Ejidos Boquillas del Refugio y La Constancia, del municipio de Parras de la Fuente, Coahuila. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Desarrollo Social. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Mazariegos, Santiago. (2018). Lombricultura rústica como alternativa para el aprovechamiento de los desechos agropecuarios en los Ejidos Boquillas del Refugio y La Constancia, del municipio de Parras de la Fuente, Coahuila. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Desarrollo Social. Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro. En Barbado, J.L. (2004). Cría de Lombrices. Su empresa de lombricultura. Buenos Aires, Argentina. Editorial ALBATROS. 1ª edición

Méndez, Orlando. (2011). Efecto de la aplicación de humus de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Tesis de Ingeniero Bioquímico. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Méndez-Moreno, Orlando., León-Martínez, Noé Samuel., Gutiérrez-Miceli, Federico Antonio., Rincón-Rosales, Reiner. y Alvarez-Solís, José David. (2012). Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. Gayana Bot. Pág:55-65.

Mendoza, Lennin. (2008). Manual de Lombricultura. Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas. CECYTECH-DG-UI-ENC-001. Pág: 1-39.

Mondragón-Ancelmo, Jaime., Rojas-Sandoval, Luis Alejandro., Juárez-Caratachea, Aureliano. y Gutiérrez-Vázquez, Ernestina. (2011). La lombricultura en la producción agropecuaria y en el ambiente. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Pág: 1-20.

Monge, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A. y Montañes, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. Vol. 21. Num. 3. Pág: 189-201.

Morales, Julio., Fernández Ramírez, María Virginia., Montiel Cota, Agustín. y Peralta Beltrán, Beatriz Catalina. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). BIOtecnia. Vol. 11. Núm. 1. Pág: 19-26.

Moreno-Reséndez, Alejandro., Rodríguez-Dimas, N., Reyes-Carrillo, J.L., Márquez-Quiroz, C., Moncayo-Luján, Ma. R. y Salas-Pérez, L. (2013). Capítulo I: Importancia del agua y potencial del vermicompost en la retención de humedad del sustrato para la actividad agrícola. En Fortis-Hernández, M. (2013). Agricultura Orgánica. Sexta parte. Red Internacional de Agricultura Orgánica – PROMEP-SEP. Pág:1-19.

Muñoz, Galo. (2015). “Evaluar las propiedades del purín de humus de lombriz (*Eisenia Foetida*) obtenido a partir de diferentes raquis”. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Quevedo.

Núñez, Ana. (2017). Monitoreo de la dinámica poblacional de la lombriz de tierra Roja Californiana (*Eisenia foetida L*) en cuatro sustratos orgánicos. Tesis de Ingeniero Agrícola Ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Núñez, Ana. (2017). Monitoreo de la dinámica poblacional de la lombriz de tierra Roja Californiana (*Eisenia foetida L*) en cuatro sustratos orgánicos. Tesis de Ingeniero Agrícola Ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En Ferruzzi, C. (2001). Manual de lombricultura. Tercera Reimpresión. Ediciones Mundi prensa. Barcelona, España.

Olivares-Campos, MA., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, JL. y Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia*. Vol. 28. Núm. 1. Pág: 27-37.

Pedregal, Ismael. (2017). Producción y comercialización de lombricompost producido por desechos orgánicos en la comunidad, Temascaltepec; 2017. Tesis de Licenciado en Administración. Universidad Autónoma del Estado de México.

Pérez, Aridio., Céspedes., Carlos. y Núñez, Pedro. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. Vol. 8. Núm. 3. Pág: 10-29.

Pérez, Rodrigo. (2016). Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

Pineda, José. (2006). Lombricultura. Instituto Hondureño del Café. Primera edición. Pag: 1-38.

Prado, Javier. (2013). Manual de lombricompostaje de pulpa de café para los cafeticultores de la región Otomí-Tepehua de Hidalgo. Pág: 1-18.

Ramos, David. y Terry Alfonso, Elein. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*. Vol. 35. Núm. 4. Pág: 52-59.

Raya, Mario. (2010). La lombricultura en el ámbito forestal. Monografía de Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Raya, Mario. (2010). La lombricultura en el ámbito forestal. Monografía de Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En Schuldt, M. (2006). Lombricultura, teoría y práctica. Ediciones Mundí-prensa. México. Primera edición. Pág: 307.

Rincón, Álvaro., Baquero Peñuela, José Eurípides y Flórez Díaz, Hernando. (2012). Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia. CORPOICA. Pág: 164.

Rios, Michell. (2021). LOMBRICOMPOSTA DE LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULA DE ALBAHACA, ARÚGULA Y PAPAYA. Tesis de Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Universidad Autónoma del estado de Moleros.

Roblero, María de los Angeles. (2011). Germinación de Maíz (*Zea mays*) Utilizando Diferentes Niveles de Lombricomposta. Tesis de Ingeniero Agrícola y Ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Rodríguez-Jiménez, Teresita de Jesús., Ojeda-Barrios, Dámaris L., Blanco-Macías, Fidel., Valdez-Cepeda, Ricardo David. y Parra-Quezada, Rafael. (2016).

Ureasa y níquel en la fisiología de las plantas. Revista Chapingo. Serie horticultura. Vol. 22. Núm. 2. Pág: 69-82.

Rodríguez, Mariela. y Flórez, Victor J. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. Nociones Básicas del Ferti-riego. Pág: 25-36.

Romero, Carlos., Chirinos, Rafaela. y López, Richard. (2004). Elaboración de un abono orgánico a partir de la cáscara de la semilla del árbol de Neem (*Azadirachta indica*). Revista Ingeniería UC. Vol. 11. Núm. 1. Pág: 35-40.

Ross, Marcus. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. Vol. 25. Núm. Especial. Tommo. II. Pág; 98-104.

Rostrán, Jorge., Carrión Delgado, Juan Ramón. y Fuentes Hernández, Hugo José. (2003). Determinación de dosis de humus de lombriz para el óptimo desarrollo en el cultivo de Pipían (*Cucúrbita pepo*) Campus Agropecuario UNAN-LEON. Tesis de Ingeniero en Agroecología Tropical. Universidad Autónoma de Nicaragua.

Sánchez, Luis. (2020). Elaboración de lombricomposta bajo distintas dietas con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Tesis de Ingeniero en Innovación Agrícola Sustentable. Instituto Tecnológico Superior de Abasolo.

Santis, Martha. (2014). Análisis de diferentes parámetros ambientales y densidad poblacional de la lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida*) para la obtención de humus líquido. Tesis de Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Sarmiento-Sarmiento, Guido Juan., Pino-Cabana, Daniela., Mena-Chacón, Laydy Mitsu., Medina-Dávila, Héctor Demetrio. y Lipa-Maman, Luis Miguel. (2019). Aplicación de humus de lombriz y algas marinas en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus Thunb.*) var. Santa Amelia. Scientia Agropecuaria. Vol. 10. Núm. 3. Pág: 363 – 368.

SENASICA. (2012). Manual de Buenas Prácticas Pecuarias: Sistema de Explotación Extensivo y Semi-Extensivo de Ganado Bovino de Doble Propósito. Pág: 1-141.

Sullcata, Raquel. (2014). Desarrollo poblacional de la lombriz Roja (*Eisenia foetida*) en relación a sustratos a base de estiércol y rastrojo de cebada. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés.

Toccalino, P.A., Agüero, M.C., Serebrinsky, C.A. y Roux, J.P. (2004). Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) según estación del año y tipo de alimentación. Rev. Vet. Vol. 15. Núm. 2. Pag: 65-69.

Uruchi, Angelica. (2018). Evaluación de tres fuentes de sustratos en la producción de humus de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en el Canton Santiago de Llallagua comunidad Juiracollo provincia aroma departamento de la paz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés.

Vallejo, Luis. y Alvarado Ochoa, Soraya. P. (2011). Rol del silicio en la fertilidad de los suelos y la nutrición vegetal. Revista Rumipamba. Pág: 1-14.

Velásquez, Henry. (2019). "Producción de humus de lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) a partir del pre compost orgánico, para la mejora de un suelo degradado y su verificación en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) en la localidad de la Esperanza – Huánuco 2018". Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad de Huánuco.

Vinces, Edilio. (2014). Incidencia de los microorganismos eficientes en el tiempo de descomposición de abonos de origen animal. Revista La Técnica. Núm. 13. Pág: 18-25.

Wolansky, Marcelo. (2011). Plaguicidas y salud humana. Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Vol. 21. Núm.122. Pág: 23-29.

Zanor, G. A., López-Pérez, M. E., Martínez-Yáñez, R., Ramírez-Santoyo, L. F., Gutiérrez-Vargas, S., y León-Galván, M. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. Ingeniería, investigación y tecnología. Vol. 19. Núm. 4. Pág: 1-10.