



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

---

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALIMENTO PELETIZADO CON  
INCLUSIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia  
foetida*), PARA CONEJO DE ENGORDA**

**Para obtener el grado de**

**Maestra en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA**

**LIC. EN NUT. BEATRIZ MÁRQUEZ CRUZ**

**COMITÉ TUTORAL**

**DIRECTOR**

**Dr. Rey Gutiérrez Tolentino**

Depto. Producción Agrícola y Animal. (UAM-X)

**CO-DIRECTOR**

**Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez**

Depto. Producción Agrícola y Animal. (UAM-X)

**ASESOR**

**Dra. Angélica Jiménez Aguilar**

Depto. El Hombre y su Ambiente. (UAM-X)

**Ciudad de México, 29 septiembre de 2022**

## COMITÉ TUTORAL



---

**Director**  
**Dr. Rey Gutiérrez Tolentino**

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Departamento de Producción Agrícola y Animal



---

**Co-Director**  
**Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez**

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Departamento de Producción Agrícola y Animal



---

**Asesor**  
**Dra. Angélica Jiménez Aguilar**

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Depto. El Hombre y su Ambiente.

Maestría en Ciencias Agropecuarias

Ciudad de México, 29 de septiembre de 2022

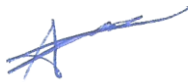
Los que suscriben, miembros del jurado examinador de la alumna Beatriz Márquez Cruz con número de matrícula 2172800129 hace constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada "Elaboración y caracterización del alimento peletizado con inclusión de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), para conejo de engorda".

Tesis presentada para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias



---

Presidente  
Dr. Rutilio Ortiz Salinas  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Departamento de Producción Agrícola y Animal



---

Secretario  
Dr. Alejandro Avalos Rodríguez  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Departamento de Producción Agrícola y Animal



---

Vocal  
Dra. Angélica Jiménez Aguilar  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Departamento el Hombre y su Ambiente.

## DEDICADA

A **Maira Janeth Montoya Márquez; Anahel Tzilacatzin Gregorio Rodríguez Márquez; Juan Francisco Tzilanzin Rodríguez Márquez y Megan Xonaxi Rodríguez Márquez**, mis hijos, por darme la fortaleza para culminar este proyecto, apoyarme siempre y estar a mi lado en los buenos y malos momentos.

A **María Cruz Martínez**, mi madre, que desde el cielo siempre está pendiente de mí.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme estar viva y sana.

A la **Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X)** por darme las facilidades para realizar esta investigación.

A la **Universidad del Estado de México** por el apoyo para culminar mi proyecto.

A mi comité tutorial, **Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez; Dra. Angélica Jiménez Aguilar y Dr. Rey Gutiérrez Tolentino.**

A la **Dra. Marcela Vergara Onofre**, Coordinadora de la Maestría en Ciencias Agropecuarias, por la confianza y apoyo.

A **mis hijos Maira; Anahel; Francisco y Megan**, por todos y cada uno de los momentos que estuve ausente.

A **Grecia Albertina García Maceda**, gracias por tu amistad y apoyo incondicional.

Al **MVZ. Jorge Santoyo Martínez** por su apoyo en mi proyecto.

Al **Ing. Juan José Maldonado Serrano** por brindarme su apoyo.

A la **Dra. Virginia Melo** por ser un gran ejemplo como académica, investigadora y ser humano.

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Vermicompostaje .....	10
Lombriz de tierra .....	10
Nutrientes en el vermicompostaje .....	12
Fuentes de vermicomposta .....	12
Bacterias asociadas con la lombriz de tierra .....	13
Factores fisicoquímicos que regulan el vermicompostaje.....	16
Caracterización de la lombriz.....	16
Edades en la población de <i>Eisenia foetida</i> .....	18
Anatomía.....	18
Anatomía externa de <i>E. foetida</i> .....	19
Anatomía Interna de <i>E. foetida</i> .....	21
Reproducción y apareamiento .....	25
Manejo productivo .....	25
a. Composición química.....	26
Evaluación del contenido microbiológico.....	29
Alimentación animal .....	29
Piensos .....	29
Cunicultura .....	32
Características de la raza de conejo Nueva Zelanda .....	35
III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	38
HIPÓTESIS .....	38
V. OBJETIVOS.....	38
5.1 Objetivo general.....	38
5.2 Objetivos específicos.....	38
VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....	39
6.1 Obtención y caracterización de la harina de lombriz ( <i>Eisenia foetida</i> ) .....	39
6.2 Obtención de muestra.....	39
6.3 Elaboración de la harina de lombriz.....	41
6.4 Composición química de la harina de lombriz y de los componentes de la dieta y alimento peletizado .....	42

6.5	Potencial de hidrógeno (pH) .....	43
6.6	Determinación del contenido de humedad .....	43
6.7	Determinación de cenizas totales y materia orgánica .....	43
6.8	Determinación de extracto etéreo o grasa cruda .....	44
6.9	Determinación de nitrógeno total .....	45
6.10	Análisis microbiológico .....	46
	Cuenta estándar en placa .....	46
	Cuenta de microorganismos coliformes totales .....	47
	Cuenta de mohos y levaduras .....	47
6.11	Digestibilidad de la proteína de lombriz ( <i>Eisenia foetida</i> ) .....	48
6.12	Determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gas .....	49
	Preparación de los ésteres metílicos .....	49
	Análisis por cromatografía de gases para ácidos grasos .....	50
	Determinación de minerales y metales pesados .....	51
<b>VII.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
	Caracterizar la composición química de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) .....	53
	Análisis químico de la Harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) .....	53
	Digestibilidad de la proteína .....	57
	Composición de aminoácidos de la harina de lombriz de Aldea Verde .....	60
	Perfil de ácidos grasos de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) de Aldea Verde .....	65
	Caracterización de perfil de minerales en H. de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) de Aldea Verde .....	66
	Análisis microbiológico de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) .....	68
	Elaboración del alimento peletizado con inclusión de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) para la dieta de conejo .....	69
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>IX.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
	ANEXO 1 .....	92
	ANEXO 2 .....	93
	ANEXO 3 .....	94
	ANEXO 4 .....	95
	ANEXO 5 .....	96
	ANEXO 6 .....	97
	ANEXO 7 .....	98
	ANEXO 8 .....	99
	ANEXO 9 .....	102

## RESUMEN

Ante el crecimiento poblacional reportado por la FAO y la demanda de alimentos para satisfacer las necesidades, se requiere de fuentes alternativas con un nivel proteico en la alimentación en animales, que sean inocuos y que no compitan con la alimentación humana, además de ser compatibles con el medio ambiente. Por lo anterior, se requiere de estrategias alternativas para satisfacer estos requerimientos. Por lo que el uso de insectos, como lo propone la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el 2013, en una producción sustentable de insectos comestibles, representan una fuente importante de proteínas y nutrientes que ofrece una solución para satisfacer las demandas en la alimentación animal.

El uso de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como una fuente de proteínas puede ser utilizada en la elaboración de alimento para consumo animal ya que presenta un aporte de proteína que va del 59 al 61% (base seca) y digestibilidad en pepsina del 91 al 92 %, comparable a la harina de pescado convencional, con un perfil de aminoácidos de diecisiete aminoácidos de los cuales ocho son esenciales histidina, treonina, arginina, valina, fenilalanina, isoleucina, leucina y lisina. Se encontraron veintisiete ácidos grasos, con un mayor porcentaje de saturados como el ácido láurico (C12:0) con 17.9525 % y el ácido palmítico (C16:0) con 13.0659 %, así como ácidos grasos monoinsaturados como el oleico (C18: 1C9) con un 14.5230 %, y poliinsaturados como el linoleico (ácido graso esencial) principalmente.

El estudio microbiológico reporta la ausencia de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Clostridium spp*, *Salmonella spp.*, bacterias coliformes totales, hongos y levaduras. La ausencia de estos microorganismos asegura la inocuidad de la harina de lombriz de lombriz (*E. foetida*), lo que brinda una seguridad para utilizarse en la suplementación de las dietas de animales.



La harina de lombriz fue utilizada para la elaboración de alimento peletizado basado en el requerimiento para conejo de engorda. Los porcentajes de inclusión en la dieta fueron del 3 %, 6 % y un control 0 %. Se emplearon en la dieta pasta de soya, heno de alfalfa, heno de avena, maíz, sales minerales. Al alimento peletizado obtenido se le realizaron los análisis químicos y microbiológicos, con la inclusión de la harina de lombriz y corroborar que cubre el requerimiento para conejo de engorda además de ser inocuo.

El uso de harina de lombriz roja (*E. foetida*), fue una alternativa de proteína no convencional en la elaboración de alimentos para consumo animal por las características que este presenta.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Composición química en base seca de diferentes tipos de insectos comestibles.	5
<b>Tabla 2.</b>	Incorporación de harina de diferentes insectos en la alimentación de peces, aves y cerdos.	7
<b>Tabla 3.</b>	Inclusión de la harina de lombriz ( <i>Eisenia foetida</i> ) en la dieta de diferentes especies de animales.	9
<b>Tabla 4.</b>	Sustratos empleados en el vermicompostaje.	13
<b>Tabla 5.</b>	Especies de lombrices utilizadas en el proceso de lombricomposta, particularidades biológicas y ambientales	17
<b>Tabla 6.</b>	Descripción de la anatomía interna de <i>E. foetida</i> .	22
<b>Tabla 7.</b>	Composición química de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) en base seca (g/100 g).	26
<b>Tabla 8.</b>	Composición de aminoácidos harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ). (En 100% de materia seca) reportada por diversos autores.	27
<b>Tabla 9.</b>	Perfil de ácidos grasos de la lombriz ( <i>E. foetida</i> ) reportada por diversos autores.	28
<b>Tabla 10.</b>	Principales productores de piensos a nivel mundial.	30
<b>Tabla 11.</b>	Composición química de la carne de conejo comparado con otras especies, expresados en porcentaje en base seca.	34
<b>Tabla 12.</b>	Requerimientos nutricionales del conejo Nueva Zelanda	36
<b>Tabla 13.</b>	Parámetros observados en las compostas utilizadas para el cultivo de la lombriz ( <i>E. foetida</i> ).	53
<b>Tabla 14.</b>	Composición química de harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) (porcentaje en base seca) de tres sitios de producción.	54
<b>Tabla 15.</b>	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la harina de lombriz de diferentes sitios y de otros insectos	58

<b>Tabla 16.</b>	Comparación de la composición química de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) con otras harinas de insectos y pescado animalizados en el presente trabajo. Resultados expresados en porcentaje.	59
<b>Tabla 17.</b>	Composición de aminoácidos expresados en mg/g y en porcentaje (%) de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ) (en base seca)	60
<b>Tabla 18.</b>	Perfil de ácidos grasos de H. lombriz ( <i>E. foetida</i> ) (porcentaje g ácido graso/100 g de grasa).	65
<b>Tabla 19.</b>	Determinación de concentración de minerales contenidos en H lombriz ( <i>E. foetida</i> ) en base seca.	68
<b>Tabla 20.</b>	Análisis microbiológico de la harina de lombriz ( <i>E. foetida</i> ).	69
<b>Tabla 21.</b>	Composición química de ingredientes en base seca usados en la dieta (g/kg MS) de los conejos	70
<b>Tabla 22.</b>	Ingredientes, proporciones y composición química utilizadas en la formulación de los pellets para conejo (g/kg MS) del control y suplementadas a 3 y 6 % con harina de lombriz ( <i>Eisenia foetida</i> ) y composición química después de dos años de almacenamiento.	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cantidad de tierra, alimento y agua necesaria para producir 1 kg de peso de animal vivo y porcentaje del animal que es comestible.	4
<b>Figura 2.</b> Anatomía externa de <i>E. foetida</i> .	19
<b>Figura 3.</b> Anatomía interna de la lombriz	24
<b>Figura 4.</b> Mapa de la ubicación de Aldea Verde, Santiago de Querétaro, Qro	42
<b>Figura 5.</b> Esquema de la metodología	51
<b>Figura 6.</b> Proceso de manufacturación del alimento peletizado	52

## I. INTRODUCCIÓN

La vermicultura se desarrolló desde tiempos remotos y ha sido asociada con la fertilidad y riqueza de los suelos. El vermicompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, por medio de microorganismos y lombrices de tierra, que son considerados como biorreactores naturales (Villegas *et al.*, 2017, Suleiman *et al.*, 2017). A mediados del siglo XX, la lombricultura adquirió mayor interés en diversos países como Holanda, Inglaterra, Canadá y posteriormente en Estados Unidos, Italia, Filipinas, Tailandia, China, Corea, Japón, Brasil, Francia, Australia (Sinha *et al.*, 2009). En los últimos años alcanza relevancia en Asia, Australia, América Latina y Europa (Schuldt, 2006; Balasubramani *et al.*, 2019; Bravo *et al.*, 2018). En la actualidad existen países que cuentan con grandes plantas para vermicompostaje tal es el caso de Estados Unidos con una producción anual de 3410 t, Reino Unido con 1000 t, Nueva Zelanda con 6000 t, Australia produce 600 t al año (Sinha *et al.*, 2010a), mientras que en América Latina y México inicia su desarrollo a finales de los 80s y principios de los 90s (SAGARPA, 2013).

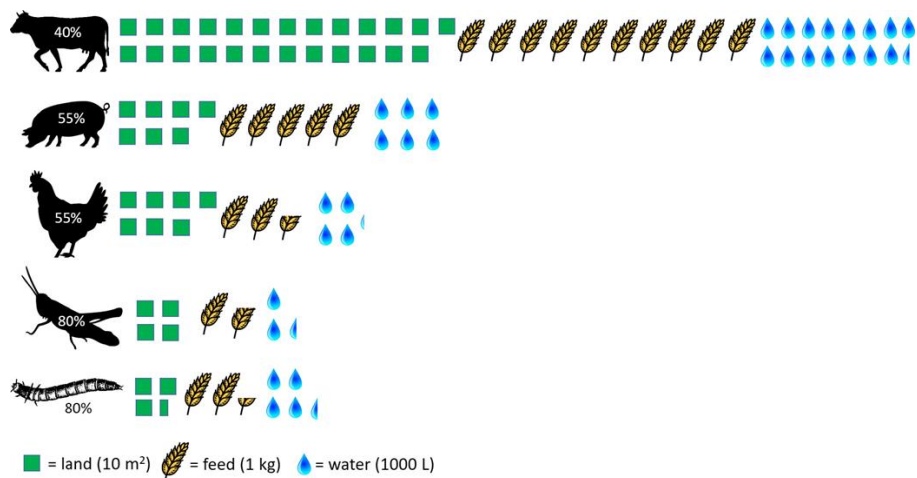
El estudio de la lombricultura se ha centrado principalmente en el mejoramiento de suelos (Huang *et al.*, 2014; Fernández-Gómez *et al.*, 2015; Villegas y Laines, 2017; Ravindran *et al.*, 2019). Sin embargo, en los últimos años se ha explorado la posibilidad de que la lombriz sea una fuente de proteína en la dieta animal (Van Huis, 2013; Tabassum-Abbasi *et al.*, 2016; Gunya *et al.*, 2018; Tedesco *et al.*, 2019; Conti *et al.*, 2019; Tedesco *et al.*, 2020) e incluso en la dieta humana (Cayot *et al.*, 2009; Sun y Jiang, 2017; Ding *et al.*, 2019), debido a su alto contenido de proteína

cruda (PC), alta digestibilidad, y fuente de minerales (Conti *et al.*, 2019; Ding *et al.*, 2019; Tedesco *et al.*, 2020). Existen infinidad de especies, sin embargo sólo algunas se han utilizado en el vermicompostaje: *Eisenia andrei* (Bouché 1972), *Eisenia foetida* (Savigny 1826), *Dendrobaena veneta* (Savigny 1826), *Allopora caliginosa*, *Ocasium lacteum* en menor medida *Lombricus terrestris*, *Lumbricus rubellus* (Gómez *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2014) *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872) y *Eudrilus eugeniae* (Kinberg 1867) (Gómez *et al.*, 2011; Adhikary *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2014; Villegas *et al.*, 2017). Siendo *Eisenia foetida* la más utilizada debido a la adaptabilidad que posee para la cría en cautiverio (Alencar *et al.*, 2016). La harina de *E. foetida* se ha utilizado como fuente de proteína no convencional en la suplementación de la dieta de animales tales como aves, peces y ratas, con un incremento en el peso final de dichos animales (Janković *et al.*, 2015; Chang *et al.*, 2016; Ngoc *et al.*, 2016; Djissou *et al.*, 2017; Nalunga *et al.*, 2021).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Ante las perspectivas del crecimiento demográfico que se incrementa año con año, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) ha reportado que para el año 2050 la población será de 9 mil millones de personas, lo que aumenta la demanda de alimentos. Para satisfacer estas crecientes demandas la producción mundial de alimentos tanto para el consumo humano y animal se incrementarán en un 70 % (FAO 2009). Otra problemática que se hace presente es el cambio climático, la escasez de tierras cultivables, sobreexplotación de los océanos, la escasez de agua dulce, lo que repercute en la producción de alimentos entre otros (Halloran *et al.*, 2013). Por lo que es de suma importancia reevaluar el tipo de alimentos que consumimos y la forma de producción. Ante tal panorama la FAO plantea alternativas para impulsar sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles (FAO, 2018).

La búsqueda de materias primas alternativas o no convencionales para la nutrición animal que presente ventajas como una alta eficiencia alimenticia, mayor rentabilidad en la producción animal, sustitución de importaciones para minimizar los costos, además de reducir la competitividad de alimentos para consumo humano, preservar el ambiente con el uso del agua, tierra y alimento para la producción de los alimentos, como se observa en la Figura 1, son algunos de los retos para los nutricionistas, así como para los pequeños y medianos productores de ganado (Ovando *et al.*, 2013; Veldkamp *et al.*, 2012).



**Figura 1. Cantidad de tierra, alimento y agua necesaria para producir 1 kg de peso de animal vivo y porcentaje del animal que es comestible. Datos de Hoekstra (2012), Hoekstra y Mekonnen (2012), Mekonnen y Hoekstra (2010, 2012), Oonincx y de Boer (2012) y van Huis (2013).**

Una opción para cubrir estas necesidades, con menores cantidades de tierra, alimento y agua son los insectos comestibles que forman una alternativa no convencional pero que presentan muchas ventajas por su contenido nutrimental y aporte energético que los hace favorables para la inclusión en la alimentación (Rumpold y Schlüter, 2013). Los insectos se consideran dentro del grupo de alimentos de origen animal cuyo aporte principalmente son proteínas, ácidos grasos y minerales, características que los hacen más atractivos y de mayor interés.

Es importante mencionar que para cubrir las necesidades proteínicas en la formulación dietas son utilizados productos como harina de pescado y subproductos de origen vegetal como la soya (Nogales *et al.*, 2019).

También se ha incursionado en el uso de insectos como fuente sustituta de proteína en los alimentos balanceados (Rompold y Schlüter, 2013; Laureti *et al.*, 2016;



Verbeke 2015; Lensvelta y Steenbekkers 2014), tal es el caso del gusano de la harina de tenebrio (*Tenebrio molitor* L.), larva de la mosca negra soldado (*Hermetia illuscens* L.), grillo nativo (*Gryllus bimaculatus*) y el grillo doméstico (*Acheta domesticus*) (Van Huis *et al.*, 2013; Adámková *et al.*, 2017 ).

Aunque existen aproximadamente 2100 especies diferentes de insectos, resulta difícil generalizar su composición nutrimental, por lo que se han realizado estudios de su composición química por diferentes autores, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1. Composición química en base seca de diferentes tipos de insectos comestibles.**

Insecto	Nombre científico	Proteína (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Fibra %	Calcio (mg/100g)	Fósforo (mg/100g)	Energía (kcal/g)	Referencia
Grillo adulto	<i>(Grylloides sigillatus )</i>	70.7	18.23	4.74	3.65	NR	NR	452	Zielińska <i>et al.</i> , 2015
Larvas de gusano de la harina	<i>(Tenebrio molitor )</i>	52.72	31.93	5.38	6.37	78.42	1039.2	NR	Kim <i>et al.</i> , 2016; 2017; Adámková <i>et al.</i> , 2017; Ghosh <i>et al.</i> , 2017
Langosta adulta	<i>(Schistocerca gregaria )</i>	69.05	15.04	3.97	2.2	NR	NR	429.5	Zielińska <i>et al.</i> , 2015
Grillo domestico	<i>(Acheta domesticus)</i>	69.3	17.24	4.64	0	NR	NR	434.8	Bosch <i>et al.</i> , 2014; Kulma <i>et al.</i> , 2019
Prepupas de mosca solado	<i>(Hermetia illucens)</i>	36.98	18.82	17.47	NR	934	356	NR	Bragan <i>et al.</i> , 2017
Grillo	<i>(Verlarifictorus asperses)</i>	46.31	28.52	3.06	NR	114.9	510.5	530.2	Kim <i>et al.</i> , 2017
Saltamontes migratorio menor	<i>(Melanoplus mexicanus)</i>	71.1	7.8	2	NR	NR	NR	NR	Ramos <i>et al.</i> , 1997
Saltamontes de arroz chino	<i>(Oxya chinensis sinuosa)</i>	74.28	3.03	4.4	NR	108.6	651.3	396.4	Kim <i>et al.</i> , 2017
Lombriz de tierra	<i>(Eisenia foetida)</i>	70.19	12.03	8.9	NR	0.82%	1.2%	299	Bou-Maroun <i>et al.</i> , 2013

Las investigaciones sobre uso de harinas de artrópodos, Orthoptera (saltamontes, langostas y grillos) y Lepidoptera (oruga), Odonata (libélulas), Blattodea (cucarachas) y los Anélidos (lombriz), como suplemento en dietas ha existido desde principios de la década de 1980 y posteriormente hay una tendencia en la obtención de alimentos ricos en proteínas, ácidos grasos esenciales y vitaminas de fuentes no convencionales (Zieliriska *et al.*, 2015; da Silva Lucas *et al.*, 2020; Tedesco *et al.*, 2020; Vielman *et al.*, 2003; Van Huis *et al.*, 2013; Tabassum-Abbasi *et al.*, 2016; Beg *et al.*, 2016; Gunya *et al.*, 2018; Tang *et al.*, 2019).

En la Tabla 2 se muestran algunos estudios donde se ha incorporado harina de diferentes insectos en sustitución de algunos componentes de la dieta de peces, aves y cerdos.

**Tabla 2. Incorporación de harina de diferentes insectos en la alimentación de peces, aves y cerdos.**

<b>Especie</b>	<b>Insecto</b>	<b>Sustitución</b>	<b>Resultados</b>	<b>Referencia</b>
Tilapia del Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Larva de mosca domestica 75% ( <i>Musca domestica</i> )	Harina de pescado	Sin efectos adversos	Wang, 2017
Bagre ( <i>Bagre marinus</i> )	Larvas de <i>Tenebrio molitor</i> 40%-80%	Harina de pescado	Sin efectos adversos	Makkar, 2014
Aves gallinas ponedoras	Larvas de mosca soldado <i>Hermitia illucens</i> 100%	Harina de soya	Rendimiento productivo tamaño de huevo	Marono, 2017
Cerdos en crecimiento	Larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	Harina de pescado, harina de aves y harina de carne	Aumento la digestibilidad de la proteína y mayor crecimiento	Yoo, 2019

La incorporación de los insectos en las dietas de diferentes especies de animales ha tenido una buena aceptación, ya que los resultados de diferentes investigaciones han mostrado resultados en el aumento de crecimiento, digestibilidad sin efectos adversos (Bosch & Swanson., 2021).

De manera particular los anélidos como la lombriz representan una excelente alternativa como fuente de proteína (Musyoka *et al.*, 2019; Ding *et al.*, 2019; Nalunga *et al.*, 2021). La lombriz de tierra *Eisenia foetida* tiene la capacidad de reducir residuos orgánicos y transformarlos en nutrientes para la agricultura y al mismo tiempo aumentar su biomasa que una fuente rica en nutrientes para la alimentación y animal (Beg y Moulick., 2016; Tedesco *et al.*, 2020).

Por lo anterior, se ha empleado la harina de lombriz en la alimentación de diferentes animales, como se muestra en la Tabla 3. Los resultados de las investigaciones han mostrado un aumento de peso, mayor conversión alimenticia, digestibilidad y crecimiento, además de mejorar la respuesta inmune.

**Tabla 3. Inclusión de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) en la dieta de diferentes especies de animales.**

Animal	Tratamiento	Parámetros	Resultados	Referencia
Codorniz japonesa ( <i>Coturnix coturnix japonica</i> ).	D 0% solo soya alimento compuesto D1 10%h de lombriz alimento/ compuesto D2 20%h de lombriz/ alimento compuesto	Ganancia de peso Conversión alimenticia	D1 mayor aumento de peso D2 mayor conversión alimenticia	Struji <i>et al.</i> , 2018
Pollos de engorda	T0% h lombriz/ h pescado 10% T1% h de lombriz/h pescado 9% T3% h de lombriz/ h pescado 7% T5% h de lombriz/ h pescado 5% T7%h de lombriz/ h pescado 3%	Ganancia de Peso Consumo de alimento Calidad de la canal y sabor de la carne.	La ganancia de peso fue mayor en T3% menor en T 7%. El consumo de alimento mayor en T0% menor en T 7% LA conversión alimenticia fue mayor en T3% No hay diferencias en la calidad de la carne Aumento de jugosidad de la carne, aroma se mantuvo, la masticabilidad , cantidad de residuos.	Nalunga <i>et al.</i> , 2021
Carpas indias Catla ( <i>Catla catla</i> , <i>Hamilton</i> ), Rohu ( <i>Labeo rohita</i> , <i>Hamilton</i> .) y mrigal ( <i>Cirrhinus</i> <i>mrigala</i> , <i>Hamilton</i> )	T (A) h. de pescado T ( B) 20% h. de lombriz más h. de pescado T (C) 50% h. de lombriz y 50% h. de pescado T (D) 100% h. de lombriz 0% h. de pescado	Peso neto Tasa de crecimiento Conversión alimenticia	T (C) (50/50) se obtuvo mayor crecimiento comparado con T(A) , T(B) y T(D) Producción total de pescado T(C) 63% más alto que T(A), 45% más alto que T(B) y 16% más alto que T(D)	Beg <i>et al.</i> , 2016.
Cobayas ( <i>Cavia porcellus</i> )	G1 Dieta de referencia (h de cebada) G2 EF 10% G3 EF 20%	Calidad nutricional de EF Digestibilidad Energía metabolizable	Coefficiente de digestibilidad fue mayor en el tratamiento G3 con mejora en la disponibilidad de energía	Castro <i>et al.</i> , 2021
Pollos de engorde	T 1 CONTROL (soya y maíz ) T2 1% EW Y 0%VH T3 1% EW y 1%VH T4 1% EW y 1.5%VH T5 1% EW y 2% VH	Ganancia de peso Características de la canal Inmunidad Composición sanguínea La microbiota y morfología del intestino delgado Calidad de calidad de la carne	No hubo diferencia en el rendimiento de las aves. El uso de (T5) tiene la capacidad de mejorar la respuesta inmune de los pollos de engorde debido a que reduce las bacterias intestinales aeróbicas. Estas características pueden ser de gran valor en los sistemas de producción avícola intensiva donde las aves experimentan importantes problemas de salud.	Chashmidari <i>et al.</i> , 2021

## **Vermicompostaje**

La producción de lombriz es resultado de la práctica conocida como vermicultura (lombricultura), actividad que se concreta en la cría y reproducción de lombrices detritívoras que son utilizadas en el reciclaje de materia orgánica y obtener el humus o vermicompost.

El vermicompostaje, es un proceso ecotecnológico, biooxidativo no termófilo donde se realiza la degradación y estabilización de materia orgánica rica en microorganismos (Villegas, 2017), que involucra lombrices de tierra y microorganismos asociados, bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento de plantas, tales como los géneros: *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azobacter*, así como bacterias gram (+) del género *Bacillus sp.* Actinobacterias, *Bacteroides*, Proteobacterias y Ascomycotina (Huang *et al.*, 2014), que en conjunto con la lombriz y los microorganismos que habitan en su tracto digestivo se potencializan, contribuyendo a la descomposición biológica de residuos orgánicos transformándolos en vermicomposta (Pathma y Nataranjan, 2012).

## **Lombriz de tierra**

La lombriz de tierra existe desde tiempos remotos, ha sido de utilidad su consumo como alimento y como carnada en la caza y la pesca, existen culturas en el mundo que las consumen, como es el caso de las provincias chinas de Fujian, Guangdong, Taiwán, Henan y Guangdong, los nativos americanos Ye'kuana del Alto Orinoco de Venezuela, los aborígenes en Australia y los maoríes en Nueva Zelanda y África (Sun y Jiang, 2017).

El efecto benéfico de las lombrices de tierra se remonta desde los egipcios, estos le atribuían la fertilidad del suelo, los griegos compartían esta teoría, el filósofo Aristóteles las llamó “el intestino de la tierra” (Sinha *et al.*, 2010a; García., 2006) y Darwin estudio la evolución y vida de las lombrices de tierra en 1858 y describe sobre su participación en la descomposición de la materia orgánica (Pathma y Sakthivel, 2012).

El Dr. Thomas Barret inicia la cría de la lombriz en cautiverio a gran escala (Sinha *et al.*, 2010b). Hugo Runter (1976) fue el pionero y el gran empresario que promovió esta actividad para la pesca.

La lombricultura se ha desarrollado en diversos países de América, Europa, Asia y Oceanía (Sinha *et al.*, 2010a; Sinha *et al.*, 2010b; Gómez *et al.*, 2011; Bravo *et al.*, 2018).

Algunos países cuentan ya con plantas de vermicompostaje como son Estados Unidos con una producción de 3410 toneladas, Reino Unido 1000 toneladas, nueva Zelanda 40,000 toneladas y Australia con 600 toneladas, esta producción es anual y va en ascenso (Villegas y Laines, 2017)

Los datos en México son inciertos no existe un registro que obligue a los productores a reportar, pero según datos proporcionados por Francisco Miembro titular de Aldea verde (lombricultura) una de las principales plantas composteadores de México menciona que un lombricompostaje bien establecido produce un promedio de 10 toneladas anuales.

## **Nutrientes en el vermicompostaje**

La cantidad y calidad de la biomasa de lombriz depende del tipo de sustrato que soporta a la vermicomposta (García *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2014; Gunya, 2016; Boulogne *et al.*, 2008), a partir de la cual se pueden obtener altas tasas de crecimiento y reproducción de lombriz (Bravo *et al.*, 2018), esta capacidad reproductiva permite a las lombrices duplicar su población cada tres meses (Acosta *et al.*, 2013; Mahboubkhomami *et al.*, 2016; García *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2014; Gunya, 2016; Boulogne *et al.*, 2008).

## **Fuentes de vermicomposta**

Diversos estudios muestran que el sustrato utilizado en el vermicompostaje tiene efecto en el incremento de cocones y la biomasa de la lombriz; estos sustratos pueden ser convencionales y no convencionales. Dentro de los sustratos convencionales se encuentran el uso de estiércol de diferentes especies como bovino, equino, ovino, conejo, aves de corral. Los sustratos no convencionales son generados por diferentes actividades agrícolas urbanas industriales como: desechos domésticos, residuos agrícolas y de la industria forestal entre otros (Singh *et al.*, 2016; SivasanKari 2016; Conti., 2019). En la Tabla 4 se muestran estudios sobre la incorporación de diferentes sustratos y mezclas de los mismos con el objetivo de obtener vermicomposta e incrementar la reproducción de lombriz.



**Tabla 4. Sustratos empleados en el vermicompostaje.**

<b>Sustrato</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Autor</b>
T1 Paja de arroz, T2 Paja de arroz y hierba T3 hierba	Temperatura Humedad pH Población lombriz Producción Vermicompost Características químicas Características microbianas	Ramnarain <i>et al.</i> , 2019
T1 Paja de caña, restos de hojas de árbol, estiércol de vaca, desechos de cocina. Y estiércol de vaca, T2 Suelo de jardín	Parámetros Temperatura Humedad Acidez Conductividad eléctrica nutrientes Vermicompost de excelente calidad	El Jawaher., 2020
T0 Tierra agrícola T1 Estiércol de vaca, Oveja, Caballo y tierra agrícola T2 cáscara de sandía, cáscara plátano y cáscara de tuna. T3 (T1 + T2)	pH Temperatura Humedad Asociación entre número de lombrices, cocones y biomasa. Materia orgánica en el compostaje (NPK y Ca)	Canales <i>et al.</i> , 2020
T1 Gallinaza residuos agrícolas T2 Bovinaza y residuos agrícolas T3 Porcinaza y residuos agrícolas	Bovinaza mejor sustrato Producción de lombriz Contenido proteínico	Velázquez <i>et al.</i> , 2019

### **Bacterias asociadas con la lombriz de tierra**

Pathma (2012) menciona que existe una interacción compleja entre los microorganismos que conforman la microflora intestinal de la lombriz y la actividad de la microflora del suelo, que influye en los procesos químicos y aumenta la disponibilidad de nutrientes de las plantas. Las lombrices de tierra ingieren bacterias rizosféricas que son promotoras del crecimiento de plantas como: *Pseudomonas*,

*Rhizobium*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, etc. El suelo rizosférico se activa o aumenta debido al incremento de la población de rizobacterias en el microambiente óptimo del intestino (Sinha *et al.*, 2010).

Estas bacterias cumplen otras funciones:

- ✓ Solubilizan nutrientes (Ayydurai *et al.*, 2007; Naiket *et al.*, 2008)
- ✓ Producción de hormonas de crecimiento, 1-aminociclopropano-1-carboxilato, precursor del etileno (Donate *et al.*, 2004)
- ✓ Fijan nitrógeno (Han *et al.*, 2005)
- ✓ Secreción enzimática de quitinasas y glutanasas que degradan la pared celular de hongos fitopatógenos etc (Naik *et al.*, 2008; Jha *et al.*, 2009; Pathama *et al.*, 2010; Pathama *et al.*, 2011)
- ✓ Antibiótico, pigmentos fluorescentes, sideróforos. Quelación de iones metálicos
- ✓ Mineralizan la materia orgánica y facilitan la quelación de iones metálicos (Canellas *et al.*, 2002)

Las lombrices de tierra aumentan el número de microorganismos, de bacterias y 'Actinomicetos' contenidos en el material que ingieren del suelo al pasar a través de su intestino (Edwards y Fletcher 1988). Se observó un aumento similar en los recuentos de placas de bacterias totales, bacterias proteolíticas y actinomicetos por el paso a través del intestino de las lombrices de tierra (Pedersen y Hendriksen 1993).

En el intestino de *E. foetida* se encuentran bacterias anaerobias como *Clostridium butyricum*, *C. beijerinckii* y *C. paraputrificum*. También en el intestino de la lombriz

se albergan microbios, fijadores de nitrógeno y descomponedores de la materia orgánica, por lo que en sus excrementos son ricos en nutrientes (Singleton *et al.*, 2003).

Por acción de las excavaciones se mejora la aeración en el vermicompostaje lo que beneficia a la comunidad microbiana Actinobacteria y Gammaproteobacteria, encontradas de forma abundante en el vermicompost (Vivas *et al.*, 2009).

Los recuentos bacterianos totales superaron los  $10^{10}$ /g de vermicompost e incluyó géneros como: *Nitrobacter*, *Azotobacter*, *Rizobium* y *Actinomicetos* (Suhane, 2007). En estudios de biología molecular se encontraron:  $\alpha$ -Proteobacteria,  $\beta$ -Proteobacteria,  $\gamma$ -Proteobacteria, Actinobacteria, Planctomycetes, Firmicutes y Bacteroidetes (Yasir *et al.*, 2009; Aira *et al.*, 2011).

La flora microbiana del intestino es potencialmente activa y pueden digerir una amplia gama de materiales orgánicos y polisacáridos, incluyendo celulosa, azúcares, quitina, lignina, almidón y ácidos polilácticos (Zhang *et al.*, 2000; Aira *et al.*, 2007; Vivas *et al.*, 2009). Además durante el paso intestinal se reduce el nivel de diferentes patógenos como *Salmonella enteriditis*, *Escherichia coli*, coliformes totales y fecales, huevos de helmintos y virus humanos en diferentes tipos de desechos. Los medios directos de reducción podrían deberse a las enzimas digestivas y la molienda mecánica en el interior de la lombriz. Los medios indirectos de eliminación de patógenos podrían deberse a las condiciones aeróbicas que podrían reducir la carga de coliformes (Monroy *et al.* 2009; Edwards, 2011; Aira *et al.* 2011).

## **Factores fisicoquímicos que regulan el vermicompostaje**

El desarrollo de la lombriz requiere en la lombricomposta una temperatura de 25°C hasta 35° C, contenido de humedad entre 80 - 90%, pH de 5 y 9, siendo el óptimo el pH neutro y una relación C:N entre 20 y 30 (Loh *et al.*, 2005; Domínguez y Gómez, 2010).

NORMATIVIDAD MEXICANA PARA LA LOMBRICOMPOSTA (Humus de lombriz).

Para obtener un producto de calidad, se ha generado la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFE-2008, que muestra la calidad y las especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas de la lombricomposta (humus de lombriz).

## **Caracterización de la lombriz**

Las lombrices de tierra son anélidos oligoquetos clitelados macroscópicos, segmentados celomados de hábitos terrestres, con un tamaño que varía de acuerdo a la especie tanto en grosor como en longitud, como se observa en la Tabla 5. Estas representan la mayor biomasa animal de ecosistemas terrestres, en su mayoría son omnívoras, influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y aceleran la descomposición de la materia orgánica (Domínguez *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2010; Sujit, 2012).

Existen 3627 especies de lombriz (Gómez-Brandón *et al.*, 2011b; Moreno *et al.*, 2014; Reynolds *et al.*, 2015), en México existen 102 especies nativas (Fragoso y Rojas, 2014). Las especies utilizadas para el lombricompostaje por sus características son: *Allopora caliginosa*, *Eisenia andrei*, *Ocasium lacteum*, *Dendrobaena rubidus*, *Lombricus terrestris*, *Lumbricus rubellus*, y *Eisenia foetida*

(Gómez *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2014), *Perionyx excavatus* (Perrier., 1872) y *Eudrilus eugeniae* (Kinberg 1867) (Gómez *et al.*, 2011; Adhikary *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2014; Villegas *et al.*, 2017). Siendo *Eisenia foetida*, esta última presenta la mejor adaptación para la cría en cautiverio con relación al resto de especies y tiene un promedio de vida 4 a 6 años, con una frecuencia de apareamientos cada 7 días a partir del tercer mes de nacida, lo cual representa una alta tasa de reproducción, y la mejor adaptación al cautiverio (Moreno *et al.*, 2014).

**Tabla 5. Especies de lombrices utilizadas en el proceso de lombricomposta, particularidades biológicas y ambientales**

CARACTERISTICAS	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Dendrobilus rubidus</i>	<i>Lumbricus rubellus</i>	<i>Drawida nepalensis</i>
Tamaño adulto cm	5-8	4-8	3-4	4	2-3
Peso promedio adultos g	0.55	0.55	0.25	0.80	0.82
Ciclo de vida en días	45-51	45-51	75	120-170	150
Tiempo de maduración en días	28-30	21-26	54	74-91	34-42
Número de cocones al día	0.35-0.5	0.35-0.5	0.2	0.07-0,35	0.15
Viabilidad oclusión (%)	73-80	72	80	60-80	75.88
Número de descendientes	2.5-3.8	2.5-3.8	1.67	1	1.93
Temperatura optima (°C)	25	25	25	-----	25
Humedad (%)	80 – 85	80-85	75	-----	75

**Fuente:** Moreno *et al.* (2014).

### **Edades en la población de *Eisenia foetida***

Las edades o clases en los anélidos oligoquetos (*E. foetida*) son determinadas por la aparición del clitelo (marca la madurez ) y se hace presente a los 0.5 g de peso y 2.5 a 3.0 cm de longitud aproximadamente; se denominan preclitelados desde la eclosión hasta la aparición del clitelo, se dividen juveniles los recién eclosionados (de color crema transparentos con poca densidad de pigmento rojo lo que evita que el tubo digestivo pueda observarse) y miden al inicio 1mm hasta la semana donde miden 7 mm y son blancas, entre 15-20 días son rosadas y alcanzan la longitud de 12-15 mm hasta 3cm se consideran subadultos estos animales cuyo intestino no se aprecia por transparencia y aun carentes de clitelo, a los noventa días se consideran adultas (maduras) son de color rojo, presentan clitelo y miden 5-8 cm longitud y presenta un diámetro de 3-5 mm y pueden alcanzar peso de 0.886 g (Schuldt *et al.*, 2005; Abdel, 2022).

### **Anatomía**

Gusano cilíndrico, alargado, ligeramente aplanado en la parte ventral y cónica en la parte anterior y segmentado de simetría bilateral (Fedace, 2012), anatómicamente como corresponde al *Phylum* Annelida su cuerpo se encuentra dividido en segmentos o anillos. Todos los segmentos como la pared corporal adquieren la forma de segmentos separados en tabiques transversales, figura 2 (; Domínguez *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2010; Fragosos y Rojas 2014).

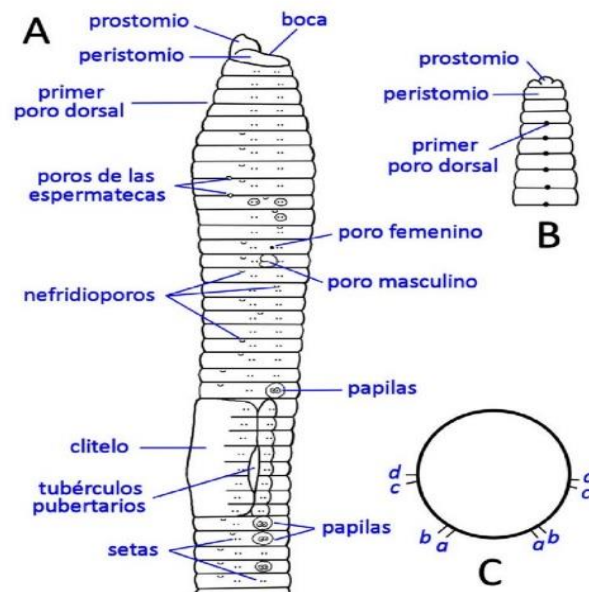


**Figura 2 *E. foetida*. (Schud 2004)**

**Anatomía externa de *E. foetida***

En la Figura 3 se observa la Anatomía externa de *E. foetida*, que comprende:

A. Vista lateral derecha .B. Vista dorsal de la porción anterior. C. Corte transversal mostrando la disposición de las setas.



**Figura 3. Anatomía externa de *E. foetida*.**

Fuente: <https://www.researchgate.net/profile/Juan-M-Zaballos>

En la Figura 3 se observa que está constituido por un número variable de segmentos, posee setas o quetas distribuidas en pares de la siguiente manera: un par ventral (a), lateroventrales (b), laterodorsales (c) y dorsales (d) como se observa en el esquema **C**, estas estructuras locomotoras facilitan el desplazamiento (Arévalo, 2016) que en conjunto con la secreción de moco forman túneles facilitando la movilidad (Moreno *et al.*, 2009; Hernández, 2018). En este segmento se encuentran papilas.

Anatómicamente en el plano antero-posterior la lombriz de tierra se divide en tres segmentos o partes peristomio (prostomio), soma y pidigo (Lazo *et al.*, 2008; Hernández, 2018)

En el segmento anterior se encuentra un lóbulo prostomio situado en posición dorsal por delante de la boca, este es similar a la lengua cumple las funciones sensitivas ya que no cuenta con ojos, nariz o manos. En el peristomio aparece detrás y debajo la boca (Hernández, 2018) este segmento carece de setas (Fadaee, 2012).

Soma o metastomio (media), poros entre los cuales están los poros masculinos con forma de ojal, son pares localizados laterales al segmento 15 mientras que los poros femeninos se localizan en el segmento 14 entre las setas (Lazo *et al.*, 2018).

Existen dos pares de poros localizados entre segmento 9 /10 y 10/11 denominado espermatecas (Fadaee 2012), donde se almacenan los espermatozoides quedando latentes hasta la fertilización

Región clitelar, este se extiende por la cara dorsal y latero dorsales de los segmentos correspondientes (Fadaee, 2012 ) se observa como una hinchazón de piel de color blanco, naranja o rojizo se puede ver en lombrices que están listas para



el apareamiento (Hernández, 2018). El material secretado para formación de capullos es producido al interior del clitelo. Posterior al clitelo encontramos setas, poros dorsales y nefridioporos (Zeballos y Moreno, 2011).

Pidigo (periprocto) es el último anillo donde se encuentra localizado el ano (Zeballos y Moreno, 2011; Hernández *et al.*, 2018).

### **Anatomía Interna de *E. foetida***

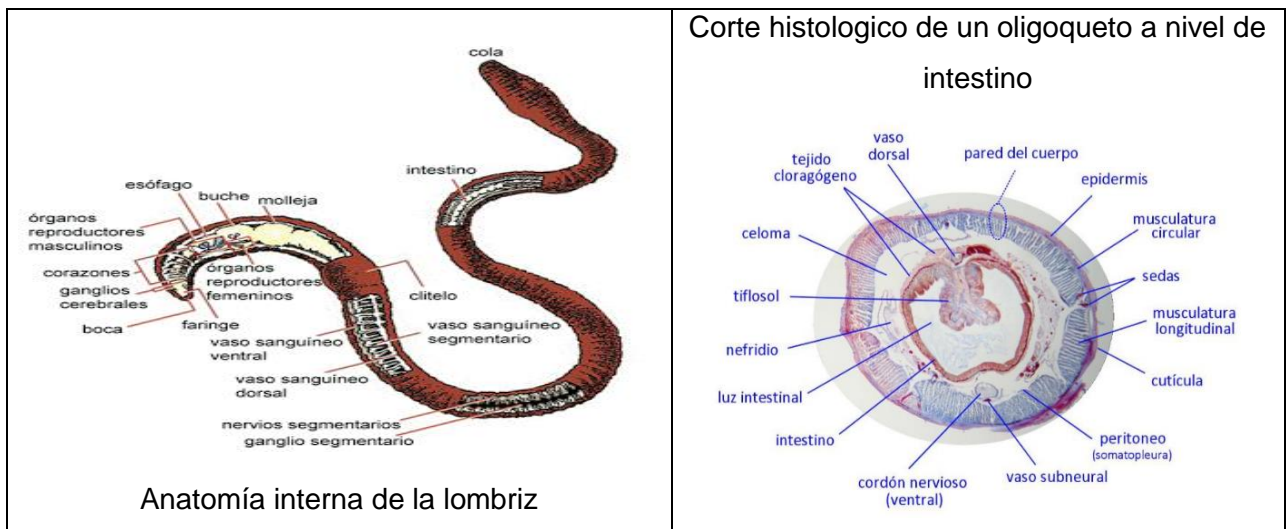
La anatomía interna de *E. foetida* está conformada por los sistemas digestivo, circulatorio, nervioso, respiratorio, muscular, reproductor y excretor que se describe a detalle en la Tabla 6.

**Tabla 6. Descripción de la anatomía interna de *E. foetida*.**

<p><b>La pared del cuerpo:</b> <b>Está constituida de afuera hacia dentro por:</b></p>	<p>Cutícula: externa que permite el intercambio gaseoso, la permeabilidad del agua, así como la transmisión de impulsos sensitivos. Lamina delgada color marrón.</p> <p>Epidermis En la epidermis se encuentran células nerviosas con receptores sensibles a la luz y otros sensitivos especializados en reaccionar al pH y la temperatura, también se encuentra el sentido del tacto y órganos gustativos que le permiten distinguir entre los diferentes sustratos alimenticios, asimismo por la epidermis se realiza la función respiratoria</p> <p>Capas musculares: Conformada por capas fibrosas musculares (circular externa y longitudinal interna) que sirve para el desplazamiento.</p> <p>Peritoneo: capa interna que limita el con el celoma de la lombriz (Rouse y Fauchald, 1995; Moreno y Borgues, 2004).</p> <p>Celoma: es un amplio espacio que contiene el líquido celómico el cual se junta con la sangre t transporta los desechos y los gases respiratorios de la lombriz. Este líquido envuelve el aparato digestivo y se extiende por toda la pared del cuerpo (Edwards y Bohlen, 1996; Lavelle y Spain, 2001; Domínguez y Gómez., 2010).</p>
<p><b>Aparato digestivo</b></p>	<p>Tubo largo recorre desde el peristomio hasta el pigido.</p> <p>Inicia en boca se continua con faringe (acompañado de glándulas) hasta llegar al esófago (es muy largo y llega hasta el segmento 14) en donde se encuentran glándulas que acumulan carbonato de calcio G de Morren (caliciformes)</p>

	<p>que regulan el pH del tubo digestivo. Se continua con el buche donde se acumula el alimento para pasar a la molleja (que es gruesa y con mucho musculo) en donde se tritura el alimento, para pasar al intestino que es muy largo y desemboca en el ano (Citernesi <i>et al.</i>, 1977; Lavelle y Spain 2001; Pérez y Moreno <i>et al.</i>, 2009; Domínguez y Brandon, 2010).</p>
<p><b>Aparato circulatorio</b></p>	<p>Existen tres vasos longitudinales principales recorren todo el cuerpo y conectan a otros que se disponen metaméricamente. Longitudinal y de mayor tamaño el vaso dorsal da la fuerza al bombeo para que produzca el flujo de sangre. Vaso ventral suspendido en el mesenterio debajo del tubo digestivo.</p> <p>Por debajo de la cadena nerviosa ventral se localiza el vaso subneural.</p> <p>También se presentan cinco pares de grandes muscularizados y contráctiles vasos periesofágicos (corazones laterales) entre los segmentos 7 a 11 (Rouse y Fauchald, 1995; García <i>et al.</i>, 2012).</p>
<p><b>Sistema Respiratorio</b></p>	<p>Es primitivo el intercambio gaseoso se produce a través de la piel (superficie general del cuerpo) (Rouse y Fauchald, 1995; García <i>et al.</i>, 2012).</p>
<p><b>Sistema Nervioso</b></p>	<p>Cordón nervioso ventral doble, Posee dos ganglios que se ramifican a cada metámero en todo el cuerpo: ganglio cefálico, ganglio nerviosos central, llevan la información al cerebro. (Rouse y Fauchald, 1995; Garcia <i>et al.</i>, 2012).</p>

<p><b>Sistema Reproductor</b></p>	<p>Aparato reproductor masculino formado por dos pares de testículos localizados en dos segmentos, poseen vesícula seminal.</p> <p>Aparato reproductor femenino consta de un solo par de ovarios, que se ubican por detrás de los órganos reproductores masculinos.</p> <p>Cuentan con espermatecas (receptáculos seminales).</p> <p>Clitelo; rodea total o parcialmente el cuerpo, posee células glandulares de tres tipos que facilitan la reproducción: moco que facilita la cúpula; las substancia que forman la cubierta externa del huevo; y la albúmina que se deposita junto con los cigotos en el interior del capullo.</p> <p>(Edwards y Bohlen 1996; Lavelle y Spain 2001; Domínguez, 2004; Domínguez <i>et al.</i>, 2010).</p>
-----------------------------------	--



**Figura 3. Anatomía interna de la lombriz**

**Fuente: (IMAGEN PUBLICADA POR Rubby del Carmen Berdugo Hernandez RECUPERADO EN <http://rubbyberdugo.blogspot.com/2009/03/texto-inicial-la-lombriz-la-lombriz.html> EL DÍA 5 DE abril DE 2021.**

## **Reproducción y apareamiento**

El anélido se caracteriza por ser hermafrodita (Dynes, 2003; Toccalino *et al.*, 2004), posee tanto el aparato reproductor masculino como femenino, pero requiere de otra pareja copular para reproducirse, ya que no posee la facultad de fecundarse sola (Edwards y Bohlen 1996; Lavelle y Spain, 2001; Domínguez, 2004; Domínguez y Brandón 2010). *Eisenia foetida*, por ser hermafrodita presenta una alta tasa de reproducción ya que cada individuo produce 9 capullos, y cada uno con hasta 20 huevos, al menos cada 14 días (Musyoka *et al.*, 2019; Tripathi y Bhardwaj, 2004).

## **Manejo productivo**

Un lecho suele contener unas 1000,000 lombrices de diferentes tamaños, incluyendo las cápsulas de los huevos. Cuando este lecho se destina a la producción de carne puede producir al mes entre 3000 y 8000 lombrices adultas durante el invierno y durante el verano entre 5000 y 10 000. Los lechos dedicados a la producción de carne de lombriz se mantienen durante dieciocho meses (Bravo *et al.*, 2018).

El desarrollo de la lombriz en la lombricomposta requiere de una temperatura óptima de 25°C hasta 35° C, contenido de humedad entre 80 - 90%, pH de 5 y 9, siendo el óptimo el pH neutro y una la relación C:N entre 20 y 30 (Loh *et al.*, 2005, Domínguez y Gómez, 2010).

**a. Composición química**

La biomasa de lombriz (*E. foetida*) posee un contenido de proteína cruda (PC) base seca (62.13%) y energía bruta EB (21.19 MJ/kg), rica en aminoácidos y alta digestibilidad *in vitro* de la proteína (92.73 %). Se han reportado diferentes valores del contenido de PC en base seca por diferentes autores: 63.5 % (Hernández et al., 2016), de 73 % (Tedesco et al., 2020) entre otros. La composición química de la lombriz con diferentes métodos de secado se observa en la Tabla 7. La proteína de ésta lombriz se caracteriza por tener aminoácidos esenciales como se aprecia en la Tabla 8., tales como lisina, fenilalanina, leucina, isoleucina, valina, metionina, histidina, treonina (Vielman et al., 2003; Sun y Jiang, 2017).

**Tabla 7. Composición química de la harina de lombriz (*E. foetida*) en base seca (g/100 g).**

TIPO DE SECADO	GRASAS	CENIZAS	PROTEINAS	HUMEDAD	MATERIA SECA	AUTOR
ESTUFA 60°C	4.81	9.61	57.29	80.08	19.92	García et al., 2009.
HORNO 60°C	8.8	8	44.3	88.90	19.1	Pucher et al., 2014
HORNO 50°C	9.13	8.44	54	89.86	10.14	Beg et al., 2016.
AL SOL	5.99	7.7	57	85.90	14.1	Hernández et al., 2016.
MICROONDAS	7.64	7.6	63.5	93.50	6.5	Ding et al., 2019.
TUNEL 65°C	3.13	9.45	56.17	90.11	9.89	
HORNO 100°C	3.49	7.83	56.64	89.49	10.51	
LIOFILIZADO	3.88	8.7	61.9	90.11	9.90	
NO REPORTADO		4.1	73.2			Tedesco et al., 2020
HORNO 60°C	9	17	59	90.00	10.00	Karabulut et al., 2020.

**Tabla 8. Composición de aminoácidos harina de lombriz (*E. foetida*). (En 100% de materia seca) reportada por diversos autores.**

Aminoácido	AUTORES			
	Vielma <i>et al.</i> , 2003	Vodounnou <i>et al.</i> , 2016	Sun y Jiang, 2017	Ding y He, 2019
<b>Treonina</b>	3.6	1.76	2.72	2.8
<b>Valina</b>	NR	1.32	2.39	3.8
<b>Metionina</b>	NR	0.76	1.01	1.1
<b>Isoleucina</b>	6.2	1.16	2.40	2.3
<b>Leucina</b>	16.6	3.12	3.94	6.2
<b>Fenilalanina</b>	3.53	1.84	2.12	2.3
<b>Histidina</b>	2.5	1.36	1.36	2.1
<b>Lisina</b>	4.3	2.68	4.26	4.9
<b>Arginina</b>	NR	2.84	3.27	6.0
<b>Serina</b>	0.9		2.71	
<b>Triptófano</b>	V	0.12		
<b>Tirosina</b>	0-92		1.73	
<b>Cisteína</b>			0.42	
<b>Glicina</b>			3.12	

Así también contiene ácidos grasos esenciales como el linoleico (C18:2c9, 2(n-6)) (Gunya *et al.*, 2016); y linolenico (C18:3c9,12,15 (n-3)) (Kumlu *et al.*, 2018), el perfil de ácidos grasos de la harina de lombriz reportado por diversos autores se muestran en la Tabla 9. El alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) que va de 31 a 51.08%, de acuerdo a diferentes autores, son importantes en la salud para prevenir enfermedades cardiovasculares.

**Tabla 9. Perfil de ácidos grasos de la lombriz (*E. foetida*) reportada por diversos autores.**

Ácido graso	Gunya <i>et al.</i> , 2016	Kumlu <i>et al.</i> , 2018	Saba <i>et al.</i> , 2019
	%		
C10:0		0.43	< 0.3
C12:0		1.73	14.8
C:13:0		1.65	<0.3
C14	3.8	0.83	4.2
C15	1.2	0.82	<0.3
C15:1c10	1.4		<0.3
C16:0	6.7	2.56	<0.3
C17:0	4.6	3.79	18.3
C17:1c10	0.1		<0.3
C18:0	17.9	10.19	17.5
C18:1n9t	0.0		<0.3
C18:19c	4.7	2.9	<0.3
C18:1c7	14.5		
C18:2c9,12 (n-6)	10.2	10.3	
C20:0	0.3	Nd	12.8
C18:3n6		0.37	32.4
C18:3c9,12,15 (n-3)	0.0	12.22	<0.3
C20:2c11,14(n-6)	2.6	2.58	<0.3
C22:0	1.3		<0.3
C20:2c11,14 (n-6)	1.6		
C20:3c11,14,17 (n-3)	0.0	10.16	<0.3
C20:4c5,8,11,14,17 (n-6)	9.3	1.18	<0.3
C23:0	0.0		<0.3
C20:c5,8,11,14,17 (n-3)	8.8	1.32	<0.3
C24:0	0.0	Nd	<0.3
C22:5c5,10,13,16,19 (n-3)	0.0	1.32	
AGS	45.8	22.0	
AGMI	22.2	26.90	
AGPI	31.0	51.08	

AGS: Ácidos grasos saturados. AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados. AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados.



## **Evaluación del contenido microbiológico**

Existen diversos estudios del análisis microbiológico de la harina de lombriz como los realizados por Gómez *et al.* (2011) y Vielman en 2008, que observaron niveles bajos en el conteo de las bacterias coliformes totales y fecales, bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras, por lo que se obtiene un producto inocuo. Estudios recientes realizados por Conti (2019) y Tedesco *et al.*, (2020) consideran la importancia de la seguridad alimentaria

## **Alimentación animal**

### **Piensos**

Uno de los desafíos más grandes es la producción de alimentos para satisfacer las necesidades de energía y proteína para la población humana que se incrementa continuamente (Church.*et al.*, 2013), así como de un costo bajo que permita el acceso de la mayoría de la población y eliminar las pérdidas que se presentan en el campo de producción.

Esta problemática también es de vital interés en la alimentación animal, desde los animales de compañía perros, gatos, aves, peces hasta los utilizados para la producción conejos, cerdos, aves, rumiantes etc., por lo que la producción de piensos cobra importancia para garantizar el bienestar animal.

En el último informe de la encuesta global sobre la producción de alimento balanceados en su décima primera edición publicada en el 2022 reporta que durante el 2021 la producción mundial de alimento balanceado aumentó un 2.3% con 1 235 millones de toneladas métricas (MTM). Los principales países productores de estos

alimentos son: China (261.424 MTM), Estados Unidos (231.538 MTM), Brasil (80.094 MTM), India (44.059 MTM), México (38.857 MTM), España (35.580 MTM), Rusia (33.000 MTM), Turquía (25.300 MTM), Japón (24.797 MTM) y Alemania (24.506 MTM). Se puede observar en la Tabla 10 la producción de piensos del 2020 y 2021 con sus diferencias respectivas y la variación en porcentaje.

**Tabla 10. Principales productores de piensos a nivel mundial.**

<b>Principales países productores de alimento balanceado de 2021</b>	<b>Producción total de alimento balanceado en 2020 (MTM)</b>	<b>Producción total de alimento balanceado en 2021 (MTM)</b>	<b>Variación 2021 /2020</b>
China	239.980	261.424	21.444 (8.9%)
Estados unidos	226.753	231.538	4.785(2.1%)
Brasil	78.413	80.094	1.681(2.1%)
India	39.256	44.059	4.803(12.2%)
México	37.925	38.857	0.932 (2.5%)
España	34.841	35.580	0.739 (2.1%)
Rusia	32.531	33.000	0.469 (1.4%)
Turquía	26.300	25.300	(1.000) (-3.8%)
Japón	24.821	24.797	(0.024) (-0.1%)
Alemania	24.930	24.506	(0.424) (-1.7%)
Total	765.75	799.16	33.405 (4.4%)

**Fuente: ALLTECH, 2022**

Los principales países productores de alimento balanceado representan el 65% de la producción mundial.

En este contexto México ocupa el quinto lugar en la producción mundial de alimentos balanceados con un incremento del 2.5 % respecto a la producción del año anterior.

En la actualidad en México se produce 38.857 MTM de alimento que son distribuidas de la siguiente manera 95.6% destinadas al sector pecuario, 3.3% a mascotas y 1.1% al sector acuícola, según informes de la Secretaria De Agricultura y Desarrollo Rural 2022.

Para la fabricación de estos insumos, la industria consume más de 37 millones de toneladas de materias primas, entre las que destacan el maíz amarillo, sorgo, avena, trigo, cebada, pasta de soya, cártamo y de origen animal harinas de pescado de carne y hueso que proveen calcio y fósforo, también se utilizan subproductos de la industria cárnica como harina de sangre entre otros así como las premezclas vitamínicas y minerales, probióticos y otros productos para estabilizar la flora intestinal y la salud animal.

El Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal (CONAFAB), comenta que la demanda de proteína animal, apetecible, inocua y nutritiva, es el mayor reto al que se enfrenta actualmente la industria, principalmente por el aumento en los costos de las materias primas y la escasez global de algunas de ellas.

La Secretaria Agricultura y Desarrollo Rural informa que México cuenta con 547 plantas productoras de alimento balaceado para animales de las cuales 49.8 % se destina a la avicultura, 15.9 % a la porcicultura, 11.1 % bovinos, 15.7 % sector lechero y la producción de alimento para mascotas creció de 860 mil toneladas a 1.1 millones esto en los últimos cinco años.

De acuerdo con la GCMA, México goza de autosuficiencia alimentaria en 95 %, pero se tiene un déficit en los granos forrajeros de 45 %, como son del maíz amarillo, sorgo, avena, pasta de soya necesario para la industria del alimento balanceado, motivo por el cual se tienen que importar.

Comparando el volumen de mayo 2020 /mayo 2021 las importaciones de maíz son mayores a 15.8 % con volumen de 7.54 MTM, mientras que la soya son 16.9 % con 3.9 de MTM, trigo 15.4 % con volumen de 2.7 MTM, la avena en 22.1 MTM entre otros.

### **Cunicultura**

La lombricultura no se debe limitar a la producción de productos agrícolas y regeneración de suelos (Adhikary 2012) sino que también es una fuente importante para obtención de proteína animal (Ding *et al.*, 2019) que puede ser utilizada para la formulación de dietas en la alimentación del diversas especies (Beg *et al.*, 2016; Musyoka *et al.*, 2019; Tedesco *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2020) y se puede considerar una alternativa de uso en la cunicultura.

La cunicultura es una actividad ganadera de baja escala que mejora las condiciones de vida de las personas que la desarrollan, además de proveer de proteína animal de alta calidad; los excedentes de producción como el aprovechamiento de las pieles y excretas (en elaboración de biofertilizantes) permiten generar ingresos adicionales (Dalle y Szendrő., 2011)

La producción de carne de conejo ocupa el 7° lugar en el mundo. Dentro de los productores de carne de conejo y liebres, México ocupa el 9° lugar con una

producción de carne de 18 297 toneladas aportando al PIB del sector primario 0.24% (estimado con datos del Comité Nacional Sistema Producto Canícula, 2016 y del SIAP, 2018) (Bautista *et al.*, 2021)

En el mundo existe un inventario de 299 945 000 de cabezas de conejos y liebres, reportado por FAO en base a los datos sobre alimentación Agricultura (FAOSTAD ,2021), México ocupa el 9° lugar a nivel mundial con un inventario de 1.11 millones de cabezas de conejos y liebres según datos se SINIIGA 2020 (SENASICA) (Bautista *et al.*, 2021.

El consumo por persona de carne de conejo en el mundo es de 300 g y se encuentra por arriba comparado con el consumo de carne de conejo en México que se reporta como 140 g por persona por año (FAOSTAT, 2021, Veléz *et al.*, 2021)

La carne de conejo a diferencia de otras carnes es más atractiva para el consumo humano, ya que presenta diversas características que la hacen más nutritiva en comparación con las carnes de otras especies animales (Acuña *et al.*, 2013). En la Tabla 10 se describe la composición química de la carne de diferentes especies de animales y se observa que la carne de conejo posee un contenido de colesterol más bajo, niveles de proteína altos y posee un alto valor de digestibilidad. Además posee niveles bajos de AGMI y altos niveles de AGPI, bajo en contenido de sodio y alto contenido de fósforo (Dalle y Szendrő, 2011)

**Tabla 11. Composición química de la carne de conejo comparado con otras especies, expresados en porcentaje en base seca.**

COMPONENTE DEL ALIMENTO		Conejo	Cerdo	Res	Pollo
Nutriente	Unidad	En 100g	En 100g	En 100g	En 100g
	Kcal	154	270	293	210
Humedad	%	70.40	59-70	57.70	65,90
Proteína	G	20.40	16.70	16.00	18.60
Lípidos totales	G	8.00	22.60	25.40	15.10
Ac. Grasos					
AGS	G	3.00	8.17	12.14	4,31
AGMI	G	3.00	9.59	11.16	5.17
AGPI	G	1.00	2.09	0.62	2.88
Colesterol	Mg	65.00	98.00	74.00	75.00
Minerales					
Calcio	Mg	18.00	6.00	8.0	11.00
Fósforo	Mg	210-00	185	0.0	270.00
Hierro	Mg	2.40	0.90	1.80	0.90
Magnesio	Mg	20.00	19.00	17.00	20.00
Sodio	Mg	43.00	5.50	59.00	70-00
Potasio	Mg	360.00	297.00	267.00	189.00
Zinc	Mg	1.40	2.05	3.55	1.31

**Fuente:** Muñoz *et al.*, 2002.

La cunicultura es un proceso en el cual se busca la producción, reproducción, cría y engorde de los conejos de la forma más económica posible, para obtener el máximo beneficio en la venta de productos y subproductos. Coreno (2017) menciona que la cunicultura es una actividad que está creciendo a nivel mundial, debido a su fácil manejo, alta tasa de reproducción y la posibilidad de generar utilidades por la venta de animales o el beneficio de proteína animal mediante el autoconsumo.

Se tienen registradas en la Asociación Americana de Criadores de Conejo ARBA, 45 tipos de razas, es importante mencionar que cada año aparecen nuevas razas como resultado de cruces genéticas. Entre las más importantes razas productoras de carne se encuentran: Gigante Flandes, Nueva Zelanda blanco y el Californiano.

También el azul de Beveren es una raza apropiada para la explotación comercial (Lebas, 1996).

En México, se ha considerado de manera oficial (como parte de una política gubernamental) que la raza apropiada para reproducirse es la Nueva Zelanda, variedad Blanca. Sin embargo, el éxito en la Cunicultura no radica solo en tener una excelente raza, también deben tomarse en cuenta y aplicarse los aspectos zotécnicos básicos, tales como: genética, reproducción, administración, nutrición, manejo (SENASICA, 2015).

### **Características de la raza de conejo Nueva Zelanda**

El conejo Nueva Zelanda presenta las siguientes características, cuerpo cilíndrico, abundante carne en lomo, dorso y espalda que son importantes en la producción de carne. Cabeza ancha ojos rojos, orejas erguidas y con las puntas redondeadas, su piel es blanca, lo que facilita su comercialización. Una característica importante es su alta prolificidad, buenas aptitudes maternas, y elevada velocidad de crecimiento. Los conejos poseen elevada tasa de fertilidad y de fecundidad, llegando a parir de 8 a 12 gazapos por camada, y son capaces de tener hasta siete partos al año.

La raza Nueva Zelanda es la más difundida para la producción de carne. La mayoría de los estudios realizados en esta raza destacan un rendimiento del 47 al 67% dependiendo de la presentación de la canal (SENASICA, 2015). Para poder obtener buenos rendimientos es importante cubrir los requerimientos nutricionales de esta etapa que se mencionan a continuación en la Tabla12.

**Tabla 12. Requerimientos nutricionales del conejo Nueva Zelanda**

<b>NUTRIENTES</b>	<b>ENGORDA</b>
Proteína bruta%	16
Aminoácidos sulfatados%	0.6
Metionina	
Cisteína	
Fibra bruta %	14
Energía Mcal/kgMS	2.48
Calcio%	0.8
Fosforo%	0.65
Vitamina A UI/kg	6000
Vitamina D UI/kg	900
Vitamina E ppm	50

**Fuente: Church *et al.*, 2013.**

Los principales nutrimentos en la nutrición canícula son proteína, carbohidratos, grasa, minerales, vitaminas y agua. Dentro de los requerimientos de nutrientes en la etapa de engorda la proteína es muy importante. Las proteínas están compuestas por aminoácidos. Los veinte aminoácidos en diferentes combinaciones componen las proteínas, de los cuales nueve son esenciales (dispensables) como: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina (Manore y Thompson, 2000).

En la alimentación de conejos se utiliza proteína de origen vegetal que puede mezclarse con proteína del origen animal como la harina de pescado para proveer algunos aminoácidos importantes en el crecimiento y reproducción. Son fuente de proteína de origen vegetal los siguientes productos: alfalfa, el trébol blanco, remolacha, zanahoria y soya (Blas, 1989; Church *et al.*, 2013; Acuña *et al.*, 2013).



La calidad de las proteínas en la nutrición es reconocida. Para un crecimiento rápido, los aminoácidos esenciales en la dieta son básicos. La síntesis proteica bacteriana en el ciego, aparentemente no contribuye en gran medida a las necesidades de aminoácidos del conejo en crecimiento o seba (Cheeke 1995; Valdivia, 2015). Se está trabajando en dosificar adecuadamente las proteínas en las raciones, poniendo mayor atención en los aminoácidos que en los porcentajes proteicos que figuran en las tablas de requerimientos (Church *et al.*, 2013; Tous *et al.*, 2014; Liao, 2015).

La alimentación es una de las partes más importantes de los costos, que conlleva la crianza de conejos; hay que elegir las raciones de manera que los costos estén adecuados a las necesidades de los conejos que se crían, ya sea en forma de harina o pellet (Lebas *et al.*, 1996; Halls, 2010).

La cunicultura es una actividad que está creciendo a nivel mundial, debido a su fácil manejo, alta tasa de reproducción y la posibilidad de generar utilidades por la venta de animales o el beneficio de proteína animal mediante el autoconsumo. Los altos costos de alimentación en la producción de conejos mediante la utilización de alimentos comerciales hacen que se busquen alternativas de alimentación para esta especie (Alli *et al.*, 2012; Dalle *et al.*, 2018).

### III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿La harina de lombriz cubre los requerimientos proteicos para la elaboración de alimento peletizado para conejos de engorda de la raza nueva Zelanda (*Oryctolagus cuniculus*)?

### HIPÓTESIS

**La suplementación con harina de lombriz (*Eisenia foetida*), es una fuente de proteína para la formulación de piensos para consumo animal.**

### V. OBJETIVOS

#### 5.1 Objetivo general

Evaluar la composición química de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como fuente de proteína en la elaboración de piensos para consumo de conejos Nueva Zelanda (*Oryctolagus cuniculus*).

#### 5.2 Objetivos específicos

- 1) Caracterizar la composición química de la harina de lombriz roja californiana *E. foetida*.
- 2) Determinar la calidad microbiológica de la harina de lombriz roja californiana *E. foetida*.
- 3) Determinar la digestibilidad de la harina de lombriz roja californiana *E. foetida*.
- 4) Incorporar la harina de lombriz en la elaboración de alimento peletizado bajo los requerimientos nutricionales para conejo.
- 5) Caracterización de la composición química del alimento peletizado con la inclusión de harina de lombriz roja.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Obtención y caracterización de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*)

### 6.2 Obtención de muestra

Se obtuvieron muestras de lombricomposta de tres sitios de producción: Predio “Las Ánimas; CIBAC y de Aldea Verde.

El Predio “Las Ánimas” y CIBAC, pertenecen a la UAM-Xochimilco.

El grupo Aldea Verde, es el mayor productor a nivel nacional de composta, lombricomposta, extractos líquidos y pie de cría de lombriz roja californiana certificada y 100% saludables. El lugar se ubica en Av. del Bejuco 4, El Carrizal, 76030 Santiago de Querétaro, Qro. En los paralelos 20° 58' latitud (LA), 100° 39' longitud (LO) (Figura 4). Este municipio cuenta con un clima seco y semiseco (INEGI, 2020).

La planta de producción cuenta con 30 años de experiencia en el manejo de residuos orgánicos, más de 70 plantas de compostaje y lombricompostaje montadas a la fecha. A través del manejo de técnicas y tecnologías existentes de aprovechamiento de la fracción orgánica logran generar bienestar ambiental, social y económico.

Son miembros de:

- Consejo de Compostaje de los Estados Unidos USCC
- Asociación Nacional de Agricultura de Conservación (ANAC A.C.)
- Lombricultores Unidos A.C. (LUAC)

- Asociación Mexicana de Productores, Formuladores y
- Distribuidores de Insumos Orgánicos Biológicos y Ecológicos (AMPFYDIOBE A.C)

La lombricomposta o humus de lombriz la producen siguiendo los parámetros de producción indicados en las normas mexicanas existentes NMX-AA-180-SCFI-2018 (establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.) y NMX-109-FF-SCFI-2008 (esta norma mexicana establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz que se produce o se comercializa en territorio nacional. Se excluye el humus de lombriz en presentación líquida. qué establece la norma), así como también a las indicaciones de producción de la National Organic Standard Board (NOSB) y el programa STA del Consejo de Compostaje de los Estados Unidos (USCC).

### **6.3 Elaboración de la harina de lombriz**

Se recolectaron 500 kg de humus con lombriz en 25 taras de un peso aproximado de 20kg cada una, las cuales fueron trasladadas a la ciudad de México para extraer de ellas la lombriz roja californiana.

Se alimentaron a base de compostaje de desechos orgánicos del cultivo de hortalizas, cultivo de champiñones y estiércol de vaca. Ha este compostaje se le controló la temperatura, humedad y pH, con lo que se garantiza el óptimo crecimiento de las lombrices.

Las muestras fueron llevadas en contenedores de plástico a temperatura de 4 °C, al laboratorio de Bromatología de la UAM-Xochimilco del DPAA, donde se realizó la selección de la lombriz *Eisenia foetida* adulta, con un peso promedio de 0.45 gramos y una longitud de 8.2 cm.

Una vez seleccionada se realizó un pre-lavado con agua para eliminar el residuo de la composta.

#### a) Lavado de la lombriz en el laboratorio

Para eliminar el bolo alimenticio (purga) se colocaron las lombrices en sémola de maíz por 24 h, con el fin de que el intestino quedara completamente libre de sustrato. Posteriormente se colocaron en agua por otras 2 h, para eliminar los restos de sémola y se sometieron en una solución salina al 4 % por 20 minutos. Se enjuagaron con agua corriente y se realizaron tres enjuagues de agua destilada para eliminar la solución salina (Boulogne *et al.*, 2008).

#### b) Secado en horno

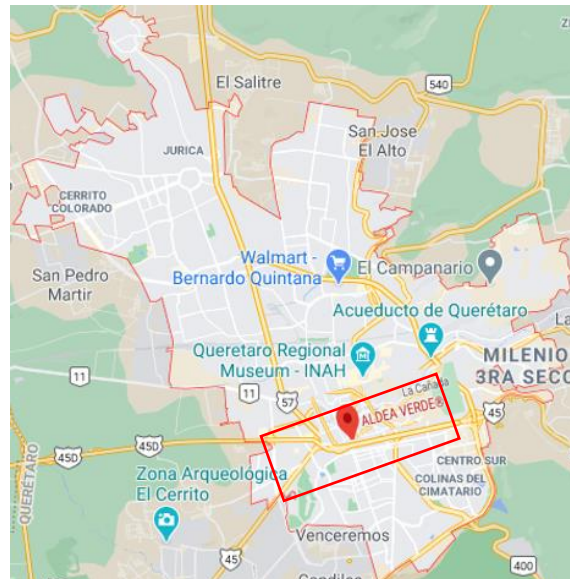
Las lombrices se extendieron en charolas de aluminio a 0.5 cm de grosor y se colocaron en un horno Marca Felisa, a 60°C, por 48 h. La biomasa seca se procesó en un molino y se colocó en frascos de vidrio color ámbar hasta su posterior análisis.

#### **6.4 Composición química de la harina de lombriz y de los componentes de la dieta y alimento peletizado**

Se realizaron las determinaciones de humedad, nitrógeno total, grasa total (extracto etéreo), cenizas totales, fibra cruda, minerales (Ca, P, Fe) de acuerdo a los métodos oficiales del AOAC, 2005.

**Figura 4. Mapa de la ubicación de Aldea Verde, Santiago de Querétaro, Qro (Tomada y modificada de Google Maps). INEGI. 2020. Climatología. Fecha de consulta: 02 de octubre de 2020. Disponible en:**

<https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>



## **6.5 Potencial de hidrógeno (pH)**

Se empleó el método oficial de prueba de la AOAC (945.10). Para ello, la muestra se homogenizó con agua destilada (1:10 p/v) para obtener el pH con un potenciómetro (5 pH meter, Beckman).

## **6.6 Determinación del contenido de humedad**

Se basa en la evaporación del agua mediante calor. El contenido de humedad se determinó con el método oficial AOAC 952.46, con algunas modificaciones relativas al tiempo y temperatura de secado. Se pesaron 20 g de muestra en crisoles de porcelana a peso constante. Posteriormente las muestras se colocaron en una estufa a 60 °C, durante 24 horas. Se enfriaron a la temperatura ambiente en un desecador y se pesaron. El porcentaje de humedad se calculó por diferencia de peso.

## **6.7 Determinación de cenizas totales y materia orgánica**

Esta determinación se basa en someter la muestra a combustión entre 550-600°C. De esta forma la muestra orgánica es oxidada y las cenizas resultantes son consideradas la parte mineral de la muestra.

El porcentaje de cenizas se determinó de acuerdo con el método oficial de prueba 940.26 de la AOAC (2005). Se utilizaron crisoles de porcelana a peso constante. Se pesó 1 g de muestra seca en cada crisol y se colocó en una mufla para incinerar entre 550-600°C, durante 2 horas y media. Después de transcurrido el tiempo se revisó que las cenizas tuvieran un color gris y se colocaron en una estufa a 100°C por 15 min, posteriormente se dejó enfriar el crisol en un desecador por 15 min, se

registró el peso y se determinó el porcentaje de cenizas por diferencia de peso. Para la materia orgánica se restó a 100 el porcentaje de cenizas.

### **6.8 Determinación de extracto etéreo o grasa cruda**

La determinación de extracto etéreo o grasa cruda está basado en la extracción continua mediante calor de todas las sustancias solubles en éter de petróleo de una muestra seca (AOAC 30.25). El extracto etéreo está formado principalmente por aceites y grasas, aunque también incluye vitaminas liposolubles, esteroides, pigmentos, ácidos orgánicos, etc. Para la determinación se pesaron 2 g de muestra seca en papel filtro y se colocaron dentro de un cartucho de celulosa que posteriormente se introdujo en un portacartucho y se colocó en la abrazadera del digestor de grasa Goldfish. El vaso de vidrio se pesó y se adicionó éter de petróleo aproximadamente a medio cuarto de su capacidad y se colocó en el digestor. El tiempo de extracción fue durante 4 horas (iniciando en el momento de la ebullición y la caída de la primera gota) cuidando que el vaso mantenga un nivel adecuado de éter, en caso de que no fuera así, se adicionó más éter de petróleo. Transcurrido el tiempo, se retiró el portacartucho y se colocó el dedal recuperador de éter con la finalidad de que se evapore el éter de petróleo del vaso y quede solo el producto de la extracción, finalmente se colocó el vaso en el desecador (con pinzas) para llevarlo al horno a 100°C durante 5 minutos y después al desecador durante 20 minutos. El vaso se pesó en balanza analítica y se registró el peso.



## 6.9 Determinación de nitrógeno total

Se determinó por el método oficial de la AOAC, 920.53. Se basa en la determinación de Nitrógeno total al ser digerido con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores, obteniendo el N como sulfato de amonio, el cual se basifica y destila como amoniaco para recibirlo en ácido bórico y titular con ácido clorhídrico. El N así cuantificado se convierte a proteínas usando un factor de conversión.

Digestión ácida. Se pesaron 0.3 g de muestra seca en papel copia. Se colocó la muestra sin papel en el tubo de digestión Kjeldahl. Se precalentó el sistema de digestión a 420°C. Se adicionaron 2 tabletas catalizadoras (3.5 g  $K_2SO_4$  y 0.4 g  $CuSO_4$ ) en el tubo de digestión, y 12 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se colocaron los tubos en la rejilla y el colector de humos firmemente en los tubos y se colocaron sobre la parrilla precalentada del sistema de digestión Kjeldahl. Después de 10 minutos, se encendió el aspirador de humos del sistema de neutralización de vapores. El tiempo de la digestión fue de 60 minutos, después de transcurrido este tiempo se apagó el digestor, se removió la rejilla con los tubos y se dejó enfriar de 15 a 20 minutos.

Destilación. Se colocó el tubo Kjeldahl en la unidad de destilación Kjelttec 8100. En el programa del equipo se ajustó a la adición automática a 50 mL de agua destilada y 30 mL de NaOH al 40 %. Se colocó en la plataforma del equipo un matraz Erlenmeyer de 250 mL que contenía 30 mL de ácido bórico al 4 %, tres gotas de indicador (verde de bromocresol y rojo de metilo) y se sumergió el tubo colector de la destilación en la solución de ácido bórico. Se colectaron 150 mL de destilado en

el matraz Erlenmeyer. Se removió el matraz Erlenmeyer del equipo de destilación. Se tituló con HCl 0.1 N valorado, hasta que la solución viró a color rosa.

Para calcular el porcentaje de proteína total, se usó como factor de conversión de 6.25.

### **6.10 Análisis microbiológico**

Se cuantificaron en número de unidades formadoras de colonias de las bacterias coliformes totales. La presencia de hongos, levaduras y bacterias (*Escherichia coli*, *Clostridium* spp. y *Salmonella* spp.) de acuerdo a la NOM-111-SSA1-1994.

El fundamento de estas técnicas consiste en contar las colonias (UFC/g), que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio. Para que las colonias puedan contarse de manera confiable, se hacen diluciones decimales de la muestra antes de ponerla en el medio de cultivo.

#### **Cuenta estándar en placa**

Se usó para investigar el contenido de microorganismos viables en un alimento. Esta técnica no pretendía detectar a todos los microorganismos presentes, pero el medio de cultivo, las condiciones de temperatura y la presencia de oxígeno, permiten seleccionar grupos de bacterias cuya presencia es importante en diferentes alimentos; por ejemplo, las bacterias mesofílicas aerobias, o mesófilos aerobios son un indicador general de la población que pueden estar presente en una muestra y, por lo tanto, de la higiene con que ha sido manejado el producto.

La cuenta total en placa se realizó de acuerdo con la NOM-092-SSA1-1994, usando como medio de cultivo Agar triptona-extracto de levadura, incubando a  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por  $48 \pm 2$  horas.

### **Cuenta de microorganismos coliformes totales**

El grupo de los microorganismos coliformes es el más ampliamente utilizado en la microbiología de los alimentos como indicador de prácticas higiénicas no eficientes.

El método permite determinar el número de microorganismos coliformes presentes en una muestra; para ello se utilizó un medio selectivo (agar rojo violeta bilis) incubándose a  $35^{\circ}\text{C}$  aproximadamente por 24 h, esto de acuerdo con la NOM-113-SSA1-1994.

### **Cuenta de mohos y levaduras**

Los mohos y levaduras están ampliamente distribuidos en la naturaleza y se pueden encontrar formando parte de la flora normal de un alimento, o como agentes contaminantes, provocando el deterioro fisicoquímico de éstos. Es de gran importancia cuantificar los mohos y levaduras en los alimentos, puesto que al establecer la cuenta de estos microorganismos, permite su utilización como un indicador de prácticas sanitarias inadecuadas durante la producción y el almacenamiento de los productos, así como el uso de materia prima inadecuada. Para su determinación se usó el medio de cultivo Agar papa-dextrosa incubándose a  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , contándose la formación de colonias después de 5 días (se escogieron las placas que contengan de 10 a 150 colonias) (NOM-111-SSA1-1994).

### **6.11 Digestibilidad de la proteína de lombriz (*Eisenia foetida*)**

Esta técnica se basa en la NMX-Y-085-SCFI-2006 alimentos para animales- determinación de la digestibilidad de proteína de origen animal – método de prueba. Se establece el procedimiento para la determinación de digestibilidad de proteína de origen animal. Es aplicable a ingredientes de origen animal, como harina de pescado, harina de carne, harina de pluma, harina de pollo y subproductos de ave y marinos.

De la diferencia entre la proteína total y la no digestible se obtuvo la proteína digestible a pepsina.

Se utilizó una solución de pepsina 0.2 %. Se disolvió la enzima en ácido clorhídrico 0.075N (6.1 mL/L de agua), se preparó solamente la solución que se va a usar ese día.

Se pesaron 2 g de muestra molida y desengrasada, con éter de petróleo en un Soxhlet o en el aparato Goldfisch durante 2 horas), en un frasco de polietileno de 200 mL con tapa de rosca. Se agregaron 150 mL de la solución de pepsina, se precalentó entre 42-45°C. Se taparon los frascos y se colocaron en el agitador incubando a 45°C en posición vertical y se agitaron durante 16 horas.

Al cabo del tiempo de agitación se filtraron a través de un papel filtro del número 1 (se puede usar alguna ayuda filtro como celite o tierra de diatomeas), y se lavaron tres veces con agua caliente. Se transfirió el contenido del papel a un matraz de Kjeldahl y se determinó el nitrógeno en la forma usual. Se realizó un blanco con papel filtro.

La proteína indigestible en pepsina se restó a la proteína cruda total para obtener la proteína digestible en pepsina 0.2 %.

Se sugiere un aparato para agitación por inversión de los frascos. Una alternativa en el laboratorio es un baño maría con agitación. De esta manera no se quedaron partículas sólidas adheridas a las paredes del frasco (AOAC 2005).

## **6.12 Determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gas**

La extracción de la grasa de la harina de lombriz se realizó por el método de Soxhlet (AOAC, 2005).

### **Preparación de los ésteres metílicos**

La metilación de los ácidos grasos se realizó por el método ISO 15885, IDF 184 2002 (ISO-IDF, 2002). Se pesaron 25 mg de grasa en un tubo Eppendorf y se adicionó 200 µL de n- hexano conteniendo un estándar interno de C13:0 (*Glycerol tritridecanoate de Sigma T3882-500 mg*), además de 50 µL de una solución de hidróxido de potasio en metanol 2 N (0.5 g/5 mL), se agito en vórtex durante un minuto y se dejó reposar en un baño de hielo para evitar pérdida de los ácidos grasos volátiles. Se adicionaron 0.13 g de hidrógeno sulfonato de sodio, se suspendió en vórtex para proceder a centrifugar a 14 000 rpm durante 5 minutos en una microcentrífuga Eppendorf, se midieron 100 µL del sobrenadante y se vertieron a un vial ámbar de 2 mL y se adicionaron 400 µL de n-hexano agitando nuevamente en el vórtex, posteriormente se inyectó en el cromatógrafo de gases

## **Análisis por cromatografía de gases para ácidos grasos**

Los ésteres metílicos fueron analizados en un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama, Shimadzu GC-2010 Plus, con auto inyector, Split (1:100). Se utilizó una columna capilar CP-Sil 88 Supelco (*SPTM<sup>560</sup>, Fused Silica, Cat. No. 24056*) de 100 m x 0,25 mm (di) x 0,20 µm de espesor de película. Se empleó como gas acarreador nitrógeno, la temperatura del inyector y detector es de 250 y 270 °C respectivamente. Se usó un programa de gradiente de temperatura: la temperatura inicial del horno fue de 140 °C, se mantuvieron durante cinco minutos, se incrementó a 5 °C min<sup>-1</sup> hasta 195 °C, y se mantuvo durante un minuto e incremento a 6 °C min<sup>-1</sup> hasta llegar a 220 °C y permaneció así durante 20 minutos, posteriormente se incrementó a 5 °C min<sup>-1</sup> hasta 240 °C y permaneció así durante 5 minutos. El tiempo de corrida fue de 50.17 minutos. La identificación de los ácidos grasos metilados se realizó a través de un estándar comercial Supelco (No 47885-U) que contiene 37 ácidos grasos (FAME 37). En todos los casos se realizó una muestra por duplicado, el volumen de inyección fue de 1 µL. Los resultados fueron expresados como g ácidos grasos por 100 g de grasa (Castro *et al.*, 2008)

## Determinación de minerales y metales pesados

Se aplicó el procedimiento descrito en la norma internacional ISO 11047(1998), para la determinación de metales pesados, por espectrometría de absorción atómica (AAS) de llama, para lo cual se utilizó un espectrofotómetro Varian de doble haz, modelo Spectrum AA220, con llama de aire/acetileno y óxido nitroso/ se utilizó acetileno y un generador de hidruro VGA 77, siguiendo el método de Jiménez *et al.* 1996; para el control de calidad se utilizó un estándar de referencia con concentraciones específicas de As. Una vez calibrado el aparato, las muestras se analizaron por triplicado. En el caso de que los análisis por duplicado no estuvieran de acuerdo, se descartaron ambos y se repitió la medición (ISO, 1998; Jiménez *et al.*, 1996).

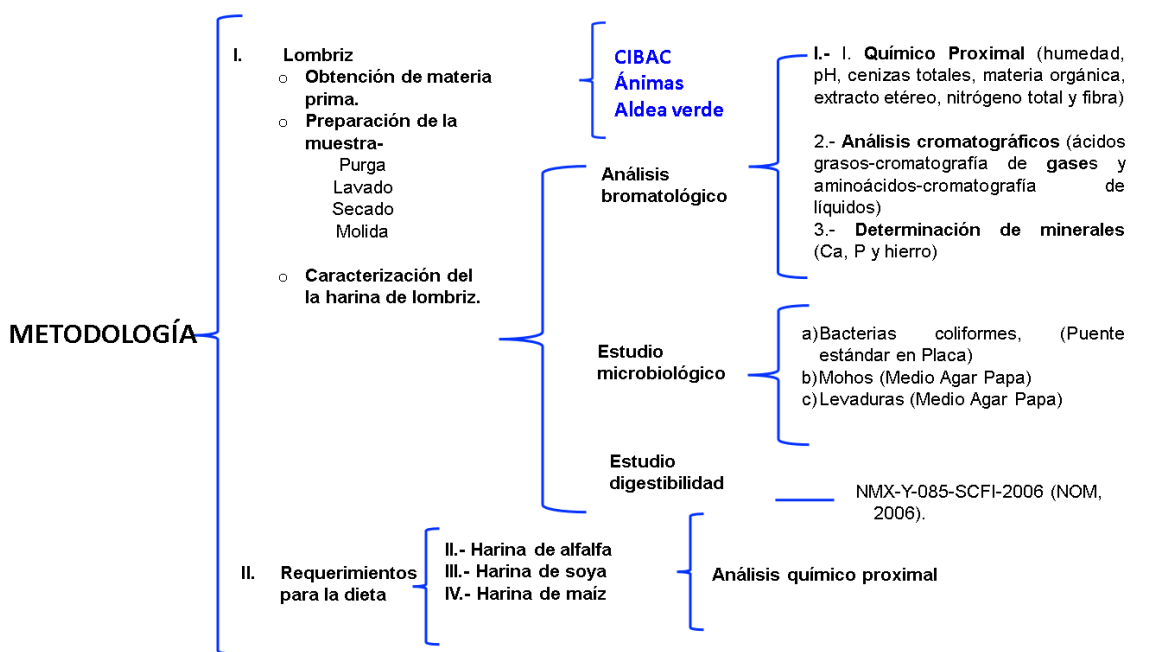
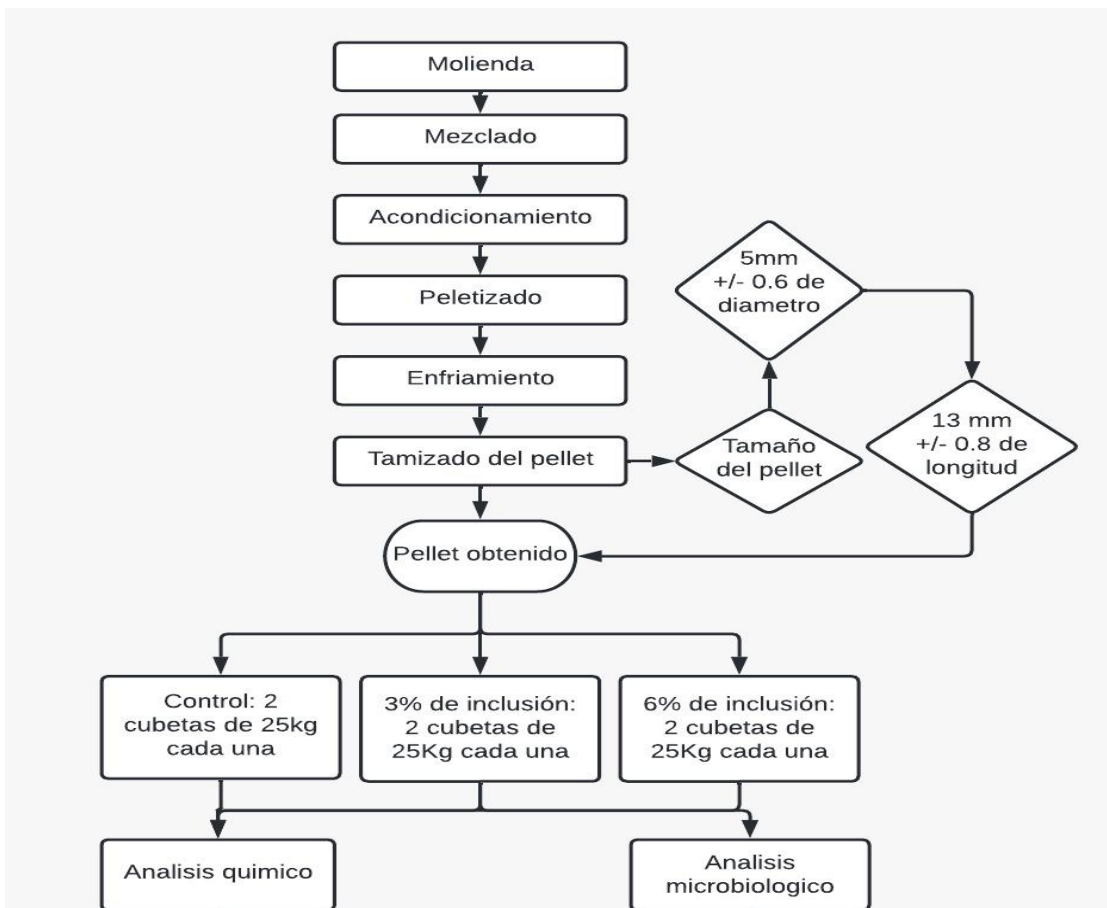


Figura 5. Esquema de la metodología.



**Figura 6. Esquema de la metodología obtención de alimento peletizado**



## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Caracterizar la composición química de la harina de lombriz (*E. foetida*).**

Los resultados de las diferentes compostas procedentes de los sitios del predio Ánimas, CIBAC (Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco) y Aldea Verde; se observan en la Tabla 13. De acuerdo con los parámetros establecidos por la norma NMX-109-FF-SCFI-2008, las diferentes compostas se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma Mexicana, excepto la del predio Las Ánimas, en la que se observa un pH de 9, superior al establecido por norma, esto puede ser debido a los residuos de vegetales utilizados.

**Tabla 13. Parámetros observados en las compostas utilizadas para el cultivo de la lombriz (*E. foetida*).**

<b>NORMA</b>	<b>PARAMETROS</b>	<b>LIMITE MAXIMO</b>	<b>LAS ÁNIMAS</b>	<b>CIBAC</b>	<b>ALDEA VERDE</b>
NMX-FF-109-SCFI-2007	pH Humedad C/N	5.5 a 8.5 20-40% Menor a 20	9 30% 20	7 40% 20	7.5 20% 20

### **Análisis químico de la Harina de lombriz (*E. foetida*)**

La composición química de la harina de lombriz (*E. foetida*) de los tres sitios de producción, se observa en la Tabla 14.

**Tabla 14. Composición química de harina de lombriz (*E. foetida*) (porcentaje en base seca) de tres sitios de producción.**

Determinación (%)	SITIO		
	ALDEA VERDE	CIBAC	ÁNIMAS
Extracto etéreo (lípidos)	8.5 ± 0.59	4.99 ± .01	7.49 ± 1.2
Cenizas	7.49 ± 1.2	9.5 ± 0.21	9.6 ± 0.52
Proteína	61.6 ± 0.12	59.68 ± 3.5	60.85 ± 0.5
ELN	20.1 ± 0.36	25.93 ± 2.9	23.81 ± 0.5
Humedad	79.6 ± 0.5	80 ± 0.4	80 ± 0.3
Materia seca	20.3 ± 0.5	20 ± 0.4	20 ± 0.5
Calcio	1.41 ± 0.07	1.02 ± 0.19	1.37 ± 0.03
Fósforo	0.79 ± 0.07	0.85 ± 0.07	0.92 ± 0.07
Hierro	0.091 ± 0.06	0.0187 ± 009	0.018 ± 0.006

El contenido de humedad y materia seca son de gran importancia en la obtención de la harina de lombriz roja californiana (*E. foetida*), ya que determinan el rendimiento de la materia prima.

En las harinas de origen animal los procesos para obtención de estos tienen un papel importante, debido a las diferentes técnicas que se emplean y que merman el rendimiento del producto, como se menciona en FEDNA, 2001, en la descripción de obtención de diferentes tipos de harinas de origen animal. Con respecto al contenido de humedad en la harina de lombriz se observa en la Tabla 14 valores entre el 79.6 y 80 %, con un promedio fue de 79.86 %, mientras que materia seca los valores se encuentran entre 20 y 20.3, con un promedio de 20.1 %, estos resultados coinciden con lo reportado por García *et al.*, 2009 y Pucher *et al.*, 2014. Lo que significa que en promedio de cada 1000 g de lombriz viva limpia, seleccionada se obtienen en

promedio 200 g de harina de lombriz seca para ser utilizada en la elaboración de alimentos.

El contenido de proteína de un ingrediente alimenticio es un factor de gran importancia (Gunya *et al.*, 2021) éstas tienen diferentes funciones en los organismos, como parte de estructuras básicas de los tejidos musculares, tendones, piel, albumina, yema, pezuñas, entre otros y complementan funciones metabólicas y reguladoras del organismo, además forman parte del código genético y sistema inmune, las proteínas son importantes para la gestación, lactancia, crecimiento y aumento de peso (NRC, 1977) existe demanda de fuentes de proteína animal que puedan ser utilizados en la formulación de alimentos balanceados.

La deficiencia de las proteínas incluyen tasa de crecimiento lenta anorexia disminución de la eficiencia alimentaria menor producción de leche y bajo peso al nacer (De Blas, 2020).

La harina de lombriz (*E. foetida*) se caracteriza por un elevado contenido de proteínas. Los resultados obtenidos se encuentre entre 59.68 y 61.6 %, como se observa en la Tabla 14. Estos resultados se encuentran por arriba de los reportados por García *et al.* (2009) que fue de 57.29 %, Pucher *et al.* (2014) de 44.3 %, Beg *et al.* (2014) de 54.0 %, Hernández *et al.* (2016) de 55.24 %, Karabulut *et al.* (2020) que reporta 59 %, a diferencia del estudio realizado por Tedesco *et al.* (2020), que reporta 73.3 %, 11.5 % por arriba de lo que se obtuvo en este estudio.

El contenido de proteína de la harina de lombriz comparado con el valor de la harina de pescado de 54 %, de la harina de soya de 40 % (Beg *et al.*, 2014), la harina de

carne de 49.3 % y la harina de pescado de 70 % de proteína, el valor de éste último puede variar dependiendo de diversos factores que atañen al proceso de obtención y origen (FEDNA, 2013), se observa que es una fuente muy atractiva de proteína de origen animal con la capacidad de ser utilizada en la suplementación de las dietas para animal en la producción de piensos, y su crianza es benéfica desde la perspectiva ambiental (transforma la materia orgánica en abonos orgánicos) (Musyoka *et al.*, 2019; Tedesco *et al.*, 2020).

En la composición química de la harina de lombriz, se observa el contenido de extracto etéreo (lípidos) de los tres sitios de producción de lombriz en la Tabla 14. Este contenido de lípidos o extracto etéreo, cumplen funciones como son reserva energética, estructural formando parte de la bicapa lipídica de la pared celular, recubren órganos, dan consistencia y protección, reguladora como las hormonas (esteroideas y prostaglandinas) y precursores de las vitaminas (A, D, E, K) liposolubles.

El contenido de lípidos de la harina de lombriz (*E. foetida*) proveniente de Aldea Verde de 8.5 % se aproxima con lo reportado por Karabulut *et al.*, (2020) en 9 %, Beg *et al.*, (2016) en 9.1 %, Pucher *et al.*, (2014) en 8.8 %. Mientras que Ding *et al.*, (2019) obtuvieron un porcentaje más alto de lípidos de 11.1%.

En lo concerniente a la harina de lombriz de CIBAC (4.99 %), fue el resultado más bajo y coincide con lo reportado por García *et al.* (2009) que obtuvieron 4.81 %.

La harina de lombriz procedente de Las Ánimas, con un contenido de lípidos de 7.49% coincide con lo reportado por Hernández *et al.* (2016), que utilizó un método de secado en microondas, el valor fue de 7.64 %.

La harina de *E. foetida* contiene niveles de lípidos apropiados como alimento y puede ser utilizado en la formulación de piensos.

El contenido de cenizas es el resultado de la oxidación de la materia orgánica y las cenizas resultantes son consideradas minerales (calcio, fósforo, hierro, selenio, etc.).

Con respecto a los resultados obtenidos registrados en la tabla 14, el contenido de cenizas de Aldea Verde, Las Ánimas y CIBAC fueron de 9.4, 9.5, 9.6 % respectivamente, y coinciden con lo reportado por García *et al.* (2009) de 9.61 % y Hernández *et al.* (2016) de 9.45 %, aunque existen reportes del contenido de ceniza más alto, como lo obtenido por Beg *et al.* (2016) quienes reportaron 10.14 %.

### **Digestibilidad de la proteína**

Es importante conocer la calidad de la proteína de las harinas de origen animal obtenidas de la transformación de los diferentes subproductos, despojos o tejidos animales, ya que éstos son sometidos al proceso de beneficio o rendimiento, a procesos de reciclado (NOM-060-ZOO-1999).

Por lo que se determina la digestibilidad de la proteína, este método tiene por objeto reproducir el mecanismo de digestión dentro del tracto digestivo de los animales (utilizada principalmente para harinas de origen animal), ésta técnica es empleada para la elaboración de dietas para mascotas, cerdos, peces, aves, bovinos etc.

En la Tabla 15, se muestra la digestibilidad *in vitro* de los diferentes sitios y de otras especies de insectos.

**Tabla 15. Digestibilidad *in vitro* de la harina de lombriz de diferentes sitios y de otros insectos**

Harinas	Digestibilidad %
Lombriz ( <i>E. foetida</i> ) ALDEA VERDE	92.91 ± 0.34
Lombriz ( <i>E. foetida</i> ) CIBAC	91.72 ± 0.08
Lombriz ( <i>E. foetida</i> ) ANIMAS	91.78 ± 0.62
Tenebrio molitor ( <i>T.molitor</i> )	79.7 ± 1.1
Chapulín ( <i>S. purpurascens</i> )	57.7 ± 0.7

La digestibilidad es uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad de las proteínas debido a que no todas son digeridas, absorbidas y utilizadas en la misma medida. Las diferencias en digestibilidad pueden deberse a factores inherentes a la naturaleza de las proteínas alimentarias (FEDNA 2013), a la presencia de componentes no proteicos con influencia en la digestión (fibra de la dieta, taninos, fitatos), a la presencia de factores antifisiológicos o a las condiciones de elaboración que pueden interferir en los procesos enzimáticos de liberación de los aminoácidos (Church y Pond, 1990). La digestibilidad proteica se puede determinar por varios métodos, entre ellos, la digestibilidad *in vivo*, ya sea aparente o verdadera, directa o indirecta, y la digestibilidad *in vitro* utilizando enzimas (FAO/OMS).

La digestibilidad en las tres HL presentó resultados similares (92.91 %, 91.72 % y 91.78 %). Los resultados de digestibilidad para la harina de tenebrio molitor (*T.molitor*) fue del 79.7 % y para la harina de chapulín (*S purpurascens*) fue de 57.7 %, estos valores fueron inferiores a la de harina de lombriz (*E. foetida*) en un 13.2

% y 34 % respectivamente. Estos valores de digestibilidad de la harina de lombriz (*E. foetida*) si se comparan con los valores reportados por FEDNA para harinas convencionales como harina de pescado y harina de carne de 91.2 % y de 63 % respectivamente, se observa que la digestibilidad de la harina de lombriz fue similar a la de harina de pescado y superior a la de harina de carne en un 29 %. Por otro lado, la FAO reporta 94 % de digestibilidad para harina de pescado, aunque éste dato puede variar dependiendo del origen, especie y manejo. El alto contenido de los nutrientes digeribles y energía metabolizable de la harina de lombriz (*E. foetida*) la hacen una alternativa en el uso de la alimentación animal (Castro *et al.*, 2020).

En la Tabla 16, se observa la composición química de la harina de lombriz procedente del sitio de producción Aldea Verde, comparada con la harina de diferentes especies de insectos.

**Tabla 16. Comparación de la composición química de la harina de lombriz (*E. foetida*) con otras harinas de insectos y pescado, expresados en porcentaje base seca.**

Determinación %	Lombriz ( <i>E. foetida</i> )	Tenebrio ( <i>T. militor</i> )	Gusano zans ( <i>A. armida</i> )	Chapulín ( <i>S. purpurascens</i> )
Extracto etéreo (lípidos) %	8.5±0.59	31.1±0.01	3.1±1.1	13.46±0.1
Cenizas %	9.4±0.10	4.1 ±0.21	4.7±41	4.36±0.1
Proteínas	61.6±0.12	53.31±3.5	70.7±0.43	57.31±1.3
ELN	20.1±0.36	6.02±2.9	17.4±1.6	24.87±0.5
Humedad	79.6±0.5	80±0.3	81.98±0.4	95.16±0.6
Materia seca	20.3±0.5	20±0.2	18.01±0.2	4.84±0.3

Se puede observar que la harina de lombriz (*E. foetida*) y la harina de gusano zans (*A. armida*) tienen un alto contenido de proteína en comparación con los otros insectos.

La selección de la lombriz manejada en el proceso de elaboración y obtención de la harina de lombriz, que se utilizó en la formulación del alimento paletizado fue la procedente de Aldea Verde ya que considerando el análisis químico reportado en Tabla 14, esta contiene un porcentaje mayor de proteína, lípidos y menor contenido de cenizas. Por otra parte, Aldea Verde maneja una producción más alta de lombricomposta, lo cual garantiza los requerimientos para la formulación del alimento peletizado.

Las fuentes no convencionales de alimentos como son los insectos representan una alternativa en la alimentación. Los resultados demostraron que poseen un alto contenido de nutrientes como son proteínas, lípidos, entre otros y que pueden utilizarse en la alimentación animal.

### **Composición de aminoácidos de la harina de lombriz de Aldea Verde**

Los resultados de la composición de aminoácidos de la harina de lombriz (*E foetida*) se observan en la Tabla 17.

Los aminoácidos encontrados en la harina de lombriz fueron diecisiete, dentro de los cuales ocho se consideran como esenciales (indispensables), como: histidina, treonina, arginina, valina, fenilalanina, isoleucina, leucina y lisina



**Tabla 17. Composición de aminoácidos expresados en mg/g y en porcentaje (%) de la harina de lombriz (*E. foetida*) (en base seca)**

<b>Aminoácido</b>	<b>mg/g</b>	<b>%</b>
Ácido aspártico (ASP)	49.329	4.9329
Ácido glutámico (GLU)	72.659	7.2659
Serina (SER)	23.198	2.3198
Histidina (HIS)	13.656	1.3656
Glicina (GLIS)	28.082	2.8082
Treonina (TRE)	22.060	2.2060
Arginina (ARG)	34.394	3.4394
Alanina (ALA)	26.863	2.6863
Tirosina (TYR)	14.357	1.4357
Cisteína (CIS)	1.539	0.1539
Valina (VAL)	20.326	2.0326
Metionina (MET)	6.222	0.6222
Fenilalanina (FEN)	16.345	1.6345
Isoleucina (ISO)	19.115	1.9115
Leucina (LEU)	33.572	3.3572
Lisina (LYS)	20.584	2.0584
Prolina (PRO)	11.705	1.1705

Diferentes autores han reportado la composición de aminoácidos en la harina de lombriz como Vielman *et al.* (2003), reportaron doce aminoácidos, de los cuales seis son esenciales (indispensables), Vonodounnon *et al.* (2016) reportaron diez aminoácidos, de los cuales 9 son esenciales (indispensables), cabe mencionar que estos autores reportan la presencia de triptófano, el cual no se encontró en este estudio. Sun y Jiaing (2017), reportaron trece aminoácidos de los cuales ocho son esenciales (indispensables), Ding y He (2019), reportaron nueve aminoácidos y ocho son esenciales. La diferencia entre lo reportado por otros autores sobre la composición de aminoácidos en la harina de lombriz y el presenta trabajo, fueron la

presencia de cuatro aminoácidos, Ácido aspártico (Asp), Ácido glutámico (Glu), Alanina y Prolina (Pro).

En lo que respecta a los porcentajes de los aminoácidos presentes en la harina de lombriz, se observa en la Tabla 5 que el ácido glutámico (Glu) tiene el contenido más alto de 7.26 %, seguido del ácido aspártico (Asp) con 4.9 % y de los más bajos fueron cisteína (Cys) 0.15 % y metionina (Met) 0.62 %. El contenido de histidina (His) fue de 1.36 %, este valor coincide con lo reportado por Vodounnou *et al.* (2016) y Sun y Jiang (2017) que fue de 1.36 %, mientras que y Ding y He (2019) reportaron 2.5 %, con una diferencia en el contenido de 0.77 a lo reportado en el presente estudio.

El valor del contenido del aminoácido treonina (Thr) fue de 2.21 %, a diferencia del valor reportado por Vodounnou *et al.* (2016) de 1.76 %. Autores como Sun y Jiang (2017), Ding y He (2019), reportaron valores de 2.72 % y 2.8 % respectivamente. Vielma *et al.* (2003) reportaron un contenido de treonina de 3.6 %.

El contenido del aminoácido arginina (Arg) fue de 3.44 %, otros autores como Vodounnou *et al.* (2016) reportaron un contenido de 2.84 %. Sun y Jiang (2017) reportaron un valor de 3.27 %, éste coincide con lo encontrado en este estudio, mientras que Ding y He (2019) reportaron 6 % dato superior en un 3.43 al valor encontrado en este estudio.

El aminoácido valina (Val) se encontró en un 2.03 % este valor fue mayor a lo reportado por Vodounnou *et al.* (2016) de 1.32 %. Otros investigadores como Sun y Jiang (2017) encontraron un valor de 2.39 %, muy similar a lo encontrado en este

estudio; mientras que Ding y He (2019), reportaron un contenido de 3.8 %, valor superior al de este estudio.

El contenido del aminoácido fenilalanina (Phe) fue de 1.63 %, este valor fue inferior a lo reportado por Vodounnou *et al.* (2016) de 1.84 % y Sun y Jiang (2017) de 2.12 %, Ding y He (2019) de 2.3 %, Vielma *et al.* (2003) de 3.53 %.

El porcentaje de Isoleucina (Ile) encontrado fue de 1.91 %. Otros autores reportaron valores de 1.16 % (Vodounnou *et al.*, 2016), 2.30 % (Vlado Ding y He., 2019), 2.40 % (Sun y Jiang., 2017) y de 6.2 % (Vielma *et al.*, 2003).

El porcentaje del aminoácido leucina (Leu) fue de 3.37 %, otros estudios han reportado valores de 3.12 % (Vodounnou *et al.*, 2016), 3.94 % (Sun & Jiang., 2017), que son aproximadamente similares a los reportados en este estudio. Ding y He (2019), reportaron un valor de 6.20 %.

Para el contenido del aminoácido Lisina (Lys) se encontró un valor de 2.06 %. Otros autores reportan valores superiores de 2.68 % (Vodounnou *et al.*, 2016), de 4.26 % (Sun & Jiang., 2017); de 4.30 % (Vielma *et al.*, 2003) y de 4.9 % (Ding y He., 2019).

De los nueve aminoácidos esenciales (indispensables) que se conocen, se encontraron ocho en la harina de lombriz (*E. foetida*), el aminoácido triptófano no se detectó. El uso de la harina de lombriz en las dietas de animales puede sustituir parte de la harina de soya, ésta contiene los nueve aminoácidos esenciales (Simeanu *et al.*, 2019). El aporte del aminoácido treonina (Thr) en la harina de lombriz (*E foetida*) fue de 2.26 %, mientras que para la harina de soya se reportó un valor de 1.64 %, la diferencia fue de 0.56 %. El contenido del aminoácido arginina

(ARG) en la harina de lombriz (*E. foetida*) fue de 3.44 %, el contenido de este mismo aminoácido en la harina de soya ha sido reportado de 2.93 %, valor inferior al comparar con la harina de lombriz (*E. foetida*). Por lo anterior, el perfil de aminoácidos, digestibilidad in vitro y contenido de proteína de la harina de lombriz, puede utilizarse como suplemento en la alimentación de animales.

Los aminoácidos requeridos por los conejos según Akande 2015, son 10 de los 21 existentes estos son arginina, histidina, leucina, isoleucina, lisina, fenilalanina, tirosina, metionina, cistina, treonina, triptófano y valina. Los cuales son suministrados por proteínas en la dieta en el caso del conejo de engorde entre un 15-16% según Church *et al.* (2013), donde se requiere cubrir lisina 0.65 % y metionina de 0.60 % ya que de no ser así repercute en el crecimiento y reproducción (Halls, 2010), como podemos observar en la tabla 17, el contenido de aminoácidos de la H, de lombriz roja californiana (*E. foertida*) cubre los requerimientos de aminoácidos en la dieta del conejo. Akande (2015) menciona que la cantidad correcta de proteína influye en una adecuada salud y productividad.

Al proporcionar dietas altas en proteínas por arriba del requerimiento en el conejo no son aprovechadas y el exceso es excretado cómo nitrógeno y aminoácidos en la orina en forma de urea que se convierten en amoniaco por acción bacteriana, al aumentar la urea aumenta la excreción de agua, que junto con la humedad de los orines se mezclan y condensan en vapor de agua provocando problemas en la calidad del aire (Pond *et al.*, 2004) y problemas respiratorios en los conejos.

### Perfil de ácidos grasos de la harina de lombriz (*E. foetida*) de Aldea Verde

Los ácidos grasos son importantes en las estructuras de las membranas celulares, así como sus funciones en el sistema hormonal. En la Tabla 18 se encuentran los resultados del perfil de ácidos grasos de la harina de lombriz (*E. foetida*).

**Tabla 18. Perfil de ácidos grasos de H. lombriz (*E. foetida*) (porcentaje g de ácido graso/100 g de grasa).**

ÁCIDO GRASO	%
C8:0	0.18
C10:0	0.44
C11:0	0.42
C12:0	17.95
C14:0	3.56
C14:1C9	0.61
C15:0	0.72
C16:0	13.07
C16:1t	0.34
C17:0	1.87
C17:1	0.11
C:18	9.50
C18:1n9t	1.04
C18:1C9	14.52
C18:2N (9.12t)	1.46
C18:2(9c-12c)	6.24
C20:0	0.40
C18:3n6(γ linolénico)	8.01
C20:1n9	0.23
C18:3 n3	1.52
C20:2 8cis 11-14	2.18
C22:0	0.18
20:3n6(cis8-11-14)	2.53
C20:3n3(c_11_14_17)	0.25
C20:4n6(c5_8_11_14)	5.46
C22:2	1.28
C24:0	0.33
C20:5n3	5.24
C24:1n9	0.35

La harina de lombriz (*E. foetida*) contiene ácidos grasos saturados, necesarios para la formación de membranas celulares, así como ácidos grasos poliinsaturados como el linoleico y linolénico que son considerados ácidos grasos esenciales.

Los ácidos grasos en mayor porcentaje observados son los saturados como el ácido laúrico (C12:0) con 17.95 % y el ácido palmítico (C16:0) con 13.07 %. El ácido graso monoinsaturado, oleico (C18:1C9) con un 14.52 %. Los ácidos grasos poliinsaturados considerados como esenciales, el linoleico (C18:2(9c-12c)) con un contenido de 6.24 %, y el alfa linolénico (C18:3n3) de 1.52 %. El gama linolénico (C18:3n6) con 8.01 %. También contiene ácidos grasos insaturados de cadena larga como el araquidónico (C20:4n6) con un contenido de 5.46 % y el eicosapentaenoico (C20:5n3) con 5.24 %. Estos ácidos grasos son considerados benéficos para la salud, debido a la prevención de enfermedades cardiovasculares (Gunya *et al.*, 2016; Kumlu *et al.*, 2018; Saba *et al.*, 2019).

### **Caracterización de perfil de minerales en H. de lombriz (*E. foetida*) de Aldea**

#### **Verde**

Los minerales se agrupan en macro minerales (calcio, fósforo, sodio, magnesio y potasio), los cuales tienen un requerimiento de gramos por día, mientras que los microminerales (cobre, zinc, manganeso, hierro, yodo, selenio y cobalto) tienen un requerimiento en miligramos por día.

En el conejo el calcio y fósforo se requieren para estructura de huesos y dientes. Estos intervienen en procesos orgánicos, función cardíaca, muscular, coagulación y equilibrio en sangre, mientras el fósforo interviene en el metabolismo energético. El requerimiento de calcio en conejo de engorde es de 0.8 % mientras que para fósforo es de 0.65 % (Tabla 19). El exceso de calcio (>15g/kg) aumenta la calcificación de tejidos blandos y puede reducir la absorción de fósforo y zinc. El exceso de fósforo (>9 g/kg) puede reducir ingesta de alimento y reducir la fertilidad (De Blas y Wiseman, 2003). El manganeso es importante en la formación del esqueleto y su requerimiento es de 20 ppm. El sodio y potasio actúan en la regulación ácido base de la sangre y otros fluidos corporales, su requerimiento es 6.5 y 10 g/kg respectivamente. El cobre está involucrado en el metabolismo de hierro y la formación de colágeno y en el metabolismo de energía, éste mejora el rendimiento en conejos, su deficiencia provoca anemia, retraso en crecimiento, problemas óseos y anemia, se recomiendan de 5 a 30 ppm (de Blas y Wiseman, 2003). El cobalto lo requieren las bacterias del intestino del conejo para la producción de la vitamina B12, se recomienda la suplementación de la dieta con 0.25 ppm (de Blas y Wiseman, 2003). El hierro es un componente de los pigmentos y cofactor en las enzimas, participa en el transporte de oxígeno y metabolismo energético, su deficiencia produce anemia y su requerimiento es 100 ppm. El zinc funciona como cofactor en las enzimas, participa en la división celular. Es requerido para la reproducción, producción de pieles y producción de carne, el requerimiento es de 50ppm (Halls, 2010).

De acuerdo a los requerimientos de minerales de los conejos, la harina de lombriz (*E. foetida*) proporciona varios de éstos, como se observa en la Tabla 18. Se encuentran elementos esenciales como Cu (cobre), Zn (Zinc), Ca (calcio), Fe (fierro), Co (cobalto), Cr (cromo), Ni (níquel), Mn (manganeso). También reportan otros autores como Vielman *et al.* (2007), Gunya *et al.* (2016) y Chaves *et al.* (2015), la presencia de estos minerales (Tabla 19). Brenes *et al.* (1978); Pond *et al.* (2004) y Musyoka (2019), mencionan que la harina de lombriz cubre los requerimientos que el conejo necesita en su alimentación.

**Tabla 19. Composición mineral de harina de lombriz (*E. foetida*)**

<b>Calcio %</b>	<b>Cu mg/kg</b>	<b>Zn mg/kg</b>	<b>Fe mg/kg</b>	<b>Co µg/kg</b>	<b>Mn mg/kg</b>	<b>Autor</b>
0.20±1.26	20.02±0.15	43.5±0.38	1038.3±1.18	NR	42.0	Vielman <i>et al.</i> , 2007
0.82 ± 0.02	22.3±11.3	150.75±02	495.3±23.3	NR	116.6	Gunya <i>et al.</i> , 2016
0.46	10.0	1200m g/kg	2800	NR	180.0	D Chaves <i>et al.</i> , 2015
1.41±0.07	165	415 mg/kg	910±0.06	13.8±0.8	150.6±0.06	Este estudio

### **Análisis microbiológico de la harina de lombriz (*E. foetida*)**

Se evaluó las UFC de coliformes totales en la harina de lombriz (*E. foetida*), el resultado fue negativo, no hubo formación de colonias. No hubo presencia de hongos y levaduras. Con respecto a la presencia de las bacterias *Escherichia coli*, *Clostridium spp.*, *Salmonella spp.* fue negativo (Tabla 20). Estos resultados



microbiológicos coinciden con lo reportado por Conti *et al.* (2019) y Tedesco *et al.* (2020).

La ausencia de estos microorganismos asegura la inocuidad de la harina de lombriz de lombriz (*E. foetida*), lo que brinda una seguridad para utilizarse en la suplementación de las dietas de animales.

**Tabla 20. Análisis microbiológico de la harina de lombriz (*E. foetida*)**

Microorganismo		Cuantificación
Coliformes totales		Negativo
Hongos		Negativo
Levaduras		Negativo
Bacterias	<i>Escherichia coli</i>	Negativo
	<i>Clostridium spp.</i>	Negativo
	<i>Salmonella spp.</i>	Negativo

#### **Elaboración del alimento peletizado con inclusión de la harina de lombriz (*E. foetida*) para la dieta de conejo**

Para la elaboración del alimento peletizado se tomaron en cuenta los requerimientos nutrimentales del conejo en etapa de engorda (Tabla 12).

Para la formulación de la dieta fue necesario seleccionar ingredientes que cubran estos requerimientos. Los resultados de la composición química de cada uno de los ingredientes seleccionados se muestran en la Tabla 21.

**Tabla 21. Composición química de ingredientes en base seca usados en la dieta (g/kg MS) de los conejos**

Ingrediente	Soya	Maíz	Alfalfa	Avena	Harina de lombriz
MS (g/kg MF)	932 ± 10.0	911 ± 10.0	900 ± 10.0	931 ± 12	940 ± 10
Materia orgánica	930 ± 0.3	987 ± 0.5	870 ± 6.3	894 ± 3.0	860 ± 9
Proteínas	480 ± 3	96 ± 2	163 ± 3	58 ± 2	614 ± 43
Grasa	9 ± 0.5	42 ± 2	11 ± 0.6	24 ± 0.6	53 ± 1
FDN	160 ± 19	87 ± 6	458 ± 21	691 ± 15	0
FDA	48 ± 11	20 ± 1	389 ± 15	434 ± 10	0

Se realizó el balanceo de la dieta y se formularon tres tratamientos con diferentes porcentajes de inclusión de harina de lombriz (*E. foetida*), un control con 0 % de inclusión de harina de lombriz (*E. foetida*), y dos tratamientos con 3 % y 6 % de inclusión de harina de lombriz (*E. foetida*) (Anexo 8).

El alimento peletizado tienen como objetivo un mejor el desempeño animal, disminuir el porcentaje de finos, reduce la selectividad del alimento, reduce patógenos de este mismo por el bajo contenido de humedad, permite un mejor uso y aprovechamiento del alimento, mejora la biodisponibilidad de los nutrientes. En la Tabla 22 se encuentran los resultados de la composición química del alimento peletizado, el control y con los dos niveles de inclusión de la harina de lombriz (*E. foetida*). Con la elaboración de los pellets se pretendió suministrar los nutrientes necesarios para la engorda del animal (Bolaños, 2013; Nutrición animal, 2007)

En la Tabla 22, también se observa la composición química de los pellets después de dos años de almacenamiento.

**Tabla 22. Ingredientes, proporciones y composición química utilizadas en la formulación de los pellets para conejo (g/kg MS) del control y suplementadas a 3 y 6 % con harina de lombriz (*Eisenia foetida*) y composición química después de dos años de almacenamiento.**

<b>Composición química del alimento peletizado</b>	<b>Control</b>	<b>3 %</b>	<b>6 %</b>
MS (g/kg MF)	941 ± 3.5	944 ± 0.5	967 ± 0.2
Materia orgánica	905 ± 2.7	902 ± 1.3	907 ± 2.5
Proteína cruda	174 ± 2.4	168 ± 3.2	167 ± 4.4
Grasa	36 ± 3.3	36 ± 1.7	36 ± 1.4
FDN	420 ± 25.8	405 ± 24.7	405 ± 13.3
FDA	234 ± 21	233 ± 6.6	244 ± 10.5
<b>Composición química del alimento peletizado almacenado durante dos años</b>			
MS (g/kg MF)	950 ± 1.5	968 ± 0.5	985 ± 0.5
Materia orgánica	904 ± 4.3	898 ± 9.5	906 ± 1.6
Proteína cruda	170 ± 2.4	166 ± 3.2	161 ± 4.4
Grasa	34 ± 1.7	35 ± 0.1	4.7 ± 0.3
FDN	415 ± 27.1	408 ± 12.5	416 ± 15.2
FDA	230 ± 22	236 ± 7.4	243 ± 9.2

Se observa que la composición química del alimento peletizado no presentó cambios después de dos años de almacenamiento, esto pudo ser debido a las condiciones de almacenamiento a una temperatura de 25°C, baja humedad y en bolsas negras dentro de botes de plástico grado alimenticio, herméticamente cerrados, que mantuvieron el alimento en condiciones estables.

## VIII. CONCLUSIONES

El contenido de proteína en la harina de lombriz representó el 61.6 %, en comparación con las proteínas de otros insectos es hasta un 5 % más alta y en comparación con harina de pescado, que es la más utilizada, su contenido de proteínas varía dependiendo del tipo de pescado utilizada, algo que no sucede con la harina de lombriz, debido a que se utiliza la misma especie.

La harina de lombriz contiene aminoácidos indispensables para las dietas como lo es la lisina y la metionina, además de presentar buen contenido de ácidos grasos como el ácido mirístico, ácido oleico y ácidos grasos esenciales como linoleico, gama linolénico y alfa linolénico.

El harina de lombriz presentó ausencia de microorganismos lo cual se debe a que la lombriz presenta un sistema inmune con el cual previene enfermedades, además, el proceso de secado elimina los microorganismos existentes en la lombriz.

La harina de lombriz tiene proteína altamente digestible en un 92 %. En comparación con otros insectos presenta hasta un 35 % más en digestibilidad y con respecto a la harina de pescado es 4 % más digestible.

Los pellets elaborados con la inclusión del 3 y 6 % de la harina de lombriz (*E. foetida*) cubrieron los requerimientos establecidos para el conejo en etapa de engorda, con el requerimiento de proteína en un 15 %.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*. 3(7): 905-917, Paper ID 24396, 13. DOI:[10.4236/as.2012.37110](https://doi.org/10.4236/as.2012.37110)

Alencar, A. P., Netto, A. J., & Nogueira, B. D. (2016). Efeito de substratos na produção e multiplicação de *Eisenia fetida* Savigny (1826) *Acta Kariri-Revista de Investigación y Desarrollo*, 1(1): 21-28.

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

Adámková, A., Adámek, M., Mlček, J., Borkovcová, M., Bednářová, M., Kouřimská, L. & Vítová, E. (2017). Welfare of the mealworm (*Tenebrio molitor*) breeding with regard to nutrition value and food safety. *Potravinarstvo slovak journal of food sciences*, 11(1): 460-465

Akande, K. E. (2015). The requirements of protein and amino acids in rabbit nutrition and production. *Case Studies Journal ISSN (2305-509X)*, 7(7): 156

Ayyadurai, N., Naik, P. R., & Sakthivel, N. (2007). Functional characterization of antagonistic fluorescent pseudomonads associated with rhizospheric soil of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of microbiology and biotechnology*, 17(6): 919-927.

Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting

independently of the application rates of pig slurry. *Science of the total Environment*, 385(1-3): 252-261.

Aira, M., Gómez-Brandón, M., González-Porto, P., & Domínguez, J. (2011). Selective reduction of the pathogenic load of cow manure in an industrial-scale continuous-feeding vermireactor. *Bioresource Technology*, 102(20): 9633-9637.

Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2): 105-120.

Bou-Maroun, E., Loupiac, C., Loison, A., Rollin, B., Cayot, P., Cayot, N., ... & Medina, A. L. (2013). Impact of preparation process on the protein structure and on the volatile compounds in *Eisenia foetida* protein powders. *Food and Nutrition Sciences*, 4(11): 1175.

Boulogne, S., Márquez, E., García, Y., Medina, A. y Cayot, P. (2008). Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal. *Ciencia e Ingeniería*, 29(2): 91-96.

Bravo, C. M., Angulo, L. M., González, Y. A., Martínez, M. M., Carmona, J. C., y Garay, O. V. (2018). Evaluación reproductiva de la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* alimentada con diferentes sustratos en el trópico bajo colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 30(2): 1-10.

Brenes Payá, A., Brenes Payá, J., y Pontes Pontes, M. (1978). Requerimientos nutritivos del conejo. *Cunicultura*, 3(13): 117-127.

Bosch, G., & Swanson, K. S. (2021). Effect of using insects as feed on animals: pet dogs and cats. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5): 795-805.

Castro-Bedriñana, J., Chirinos-Peinado, D., & Sosa-Blas, H. (2020). Digestibilidad, energía digerible y metabolizable de la harina de lombrices de tierra (*Eisenia Foetida*) incluida en dos niveles en cobayas (*Cavia Porcellus*). *Adva. Sci., Techno. y Engin. Sys. J*, 5(3): 171-177.

Canales Gutiérrez, A., Solís Ramos, B. J., Panca Castañeda, R. J., & Quispe Cáceres, B. L. (2020). Crianza de *Eisenia foetida* (Lombriz Roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. *Ecología Aplicada*, 19(2): 87-92.  
<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i2.1559>

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Façanha, A. L., & Façanha, A. R. (2002). Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity in maize roots. *Plant physiology*, 130(4): 1951-1957.

Citernesi U, Neglia R, Seritti A, Lepidi AA, Filippi C, Bagnoli G, Nuti MP, Galluzzi R (1977) Nitrogen-fixation in gastro-enteric cavity of soil animals. *Soil Biol Biochem*, 9(1) :71–72.

CONAFAB: El Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal, A.C. (Conafab) : [www.conafab.org](http://www.conafab.org) Twitter: @Conafab

Conti, C., Castrica, M., Balzaretti, C. M., and Tedesco, D. E. (2019). Edible earthworms in a food safety perspective: Preliminary data. *Italian journal of food safety*, 8(2): 7695.

Cayot, N., Cayot, P., Bou-Maroun, E., Laboure, H., Abad-Romero, B., Pernin, K., ... & Medina, A. L. (2009). Physico-chemical characterisation of a non-conventional food protein source from earthworms and sensory impact in arepas. *International journal of food science & technology*, 44(11): 2303-2313.

Chashmidari, Y., Esmailzadeh, L., Karimi-Torshizi, M. A., Seidavi, A., da Silva Araujo, C. S., & Araujo, L. F. (2021). Feed supplementation with vermi-humus and earthworm (*Eisenia foetida*) powder on broiler productivity. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1): 1054-1062.

Chang, S. C., Lin, M. J., Chao, Y. P., Chiang, C. J., Jea, Y. S., y Lee, T. T. (2016). Efectos de la harina de compost de hongos usados sobre el rendimiento del crecimiento y las características de la carne de los gansos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45 (6): 281-287.

da Silva Lucas, A. J., de Oliveira, L. M., Da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food chemistry*, 311: 126022.

Dalle Zotte, A., y Szendrő, Z. (2011). The role of rabbit meat as functional food. *Meat science*, 88(3): 319-331.



De Blas, C., Mateos, G. G., y Rebollar, P. G. (2013). Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal. Necesidades nutricionales para ganado porcino. 2nd ed. Madrid: FEDNA.

De Blas, C., & Wisewan, J. (Eds.). (2020). Nutrition of the Rabbit. Cabi.

Ding, S., Lin, X., & He, S. (2019). Earthworms: a source of protein. *J Food Sci Eng*, 9: 159-70. doi: 10.17265/2159-5828/2019.05.001

Djissou, A. S., Ochiai, A., Koshio, S., & Fiogbe, E. D. (2017). Effect of total replacement of fishmeal by earthworm and *Azolla filiculoides* meals in the diets of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) reared in concrete tanks. *Indian Journal of Fisheries*, 64(1):31-36.

Dóberman, D., Swift, J. A., & Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42(4): 293-308. <https://doi.org/10.1111/nbu.12291>

Dohaish EJAB. Vermicomposting of Organic Waste with *Eisenia fetida* Increases the Content of Exchangeable Nutrients in Soil. (2020). *Pak J Biol SciMa*, 23(4):501-509. doi: 10.3923/pjbs.2020.501.509. PMID: 32363835.

Donate-Correa, J., León-Barrios, M., & Pérez-Galdona, R. (2005). Cribado de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en *Chamaecytisus proliferus* (tagasaste), una leguminosa arbórea-arbustiva forrajera endémica de las Islas Canarias. *Planta y Suelo*, 266 (1): 261-272.

Domínguez, J., Aira, M., y Gómez-Brandón, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Revista Ecosistemas*, 18(2).

Domínguez, J., y Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2): 309-320.

Edwards, C. A., and Subler, S. (2011). Human pathogen reduction during vermicomposting. *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes and environmental management*. CRC Press, Boca Raton, 249-261.

El Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal, A.C. (Conafab) [www.conafab.org:twitter](http://www.conafab.org:twitter) @ CONAFAB

El Jawaher, A. (2020). Research Article Vermicomposting of Organic Waste with *Eisenia fetida* Increases the Content of Exchangeable Nutrients in Soil *Pak Journal. Biology Science*, 23(4): 501-509.

FAO. (2013). The state of food insecurity in the world. The multiple dimensions of food security. Rome: Food and Agriculture Organization.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) La Seguridad Alimentaria Y Nutrición en El Mundo (2018) NOTAS: Esta tabla se ha elaborado a partir de la publicación *Global Food Crisis Report 2018 (Informe mundial sobre las crisis alimentarias, 2018)*.<https://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>

Fernández-Gómez, M. J., Nogales, R., Plante, A., Plaza, C., y Fernández, J. M. (2015). Application of a set of complementary techniques to understand how varying

the proportion of two wastes affects humic acids produced by vermicomposting. *Waste Management*, 35: 81-88.

García, M. D., Oruña, L., Domínguez, H., y Martínez, V. (2005). Evaluación de la calidad proteica de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) en ratas en crecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 39(3): 333-338.

García, P. R. E. (2011). La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México, 178 .

García-Pérez, R. E. (2006). La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura (No. 592.64 G3L6).

Grainger, M. (2010). World summit on food security (UN FAO, Rome, 16–18 November 2009). *Development in practice*, 20(6): 740-742.

Gómez, B. M., Aira, M., Lores, M. y Domínguez, J. (2011). Changes in microbial community structure and function during vermicomposting of pig slurry. *Bioresource Technology*, 102(5):4171- 4178.

Ghosh, S., Lee, S. M., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2): 686-694.

Gunya, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2016). Nutrient composition and fatty acid profiles of oven-dried and freeze-dried earthworm *Eisenia foetida*. *Journal of Food and Nutrition Research*, 4(6): 343-348.

Gunya, B., Muchenje, V., y Masika, P. J. (2018). The effect of *Eisenia foetida* meal as a protein source on sensory attributes of broiler meat. *Livestock Research for Rural Development*. 30 (3):2-8.

Guzman, E. F. V., Giunta, S. A., Zutara, M. S., Alcázar, N. D. R., & Otero, N. M. P. (2019). Evaluación de sustratos en la producción de eisenia foetida y su uso como alimento de *odontesthes bonariensis*. *Difusiones*, 17(17): 14-23.

Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., & Roos, N. (Eds.). (2018). *Edible insects in sustainable food systems*. Cham: Springer, 83-91.

Halloran, A., & Flore, R. (2018). A new world of ingredients: aspiring chefs' opinions on insects in gastronomy. In *Edible insects in sustainable food systems*, Springer, Cham: 129-137.

Han, J., Sun, L., Dong, X., Cai, Z., Sun, X., Yang, H., ... & Song, W. (2005). Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftia tsuruhatensis* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various plant pathogens. *Systematic and applied microbiology*, 28(1): 66-76.

Huang, K., Li, F., Wei, Y., Fu, X., y Chen, X. (2014). Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bioresource Technology*, 170: 45-52.

Halls, A. E. (2010). Nutritional requirements for rabbits. Retrieved September, 21: 2014. <http://nutrecocanada.nutreco-t.com/docs/shur-gain---specialty/nutritional-requirements-of-rabbits.pdf>.

Hermetia illucens larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. Poultry Science, 96(6):1783-1790. <https://doi.org/10.3382/ps/pew461>

International Standard ISO. 11047:1998(E) Soil Quality-Determination of Cadmium, Chromium, Cobalt, Copper, Lead, Manganese, Nickel and Zinc in Aqua Region Extracts of Soil-Flame and Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Methods. 1998:1-4; Beuth: Berlin, Germany, 1998; Available online: <https://www.iso.org/standard/24010.html> (accessed on 20 May 2019).

Janković, L., Radenkovic-Damnjanović, B., Vučinić, M., Šefer, D., Teodorović, R., Đorđević, M., & Radisavljević, K. (2015). Effects of fish meal replacement by red earthworm (*lumbricus rubellus*) meal on broilers performance and health. Acta Veterinaria-Beograd, 65(2): 271-286.

Jha, B. K., Gandhi Pragash, M., Cletus, J., Raman, G., & Sakthivel, N. (2009). Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. plecoglossicida* and *P. mosselii*. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 25(4): 573-581.

Jiménez de Blas, O.; Rodriguez Mateos, N.; Garcia Sanchez, A. Determination of Total Arsenic and Selenium in Soils and Plants by Atomic Absorption Spectrometry with Hydride Generation and Flow Injection Analysis Coupled Techniques. J. AOAC Int. 1996, 79: 764-768.

Kim, H. S., Kim, Y. J., Chon, J. W., Kim, D. H., Song, K. Y., Kim, H., & Seo, K. H. (2017). Organoleptic evaluation of the high-protein yoghurt containing the edible

insect *Oxya chinensis sinuosa* (grasshopper): A preliminary study. *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 35(4): 266-269.

Kim, S. K., Weaver, C. M., & Choi, M. K. (2017). Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea. *CyTA-Journal of Food*, 15(1): 143-146.

Kulma, M., Kouřimská, L., Plachý, V., Božik, M., Adámková, A., & Vrabec, V. (2019). Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. *Food Chemistry*, 272: 267-272.

Kumar, S., Tripathi, G., & Mishra, G. V. (2021). A comparative study on agrowaste conversion into biofertilizer employing two earthworm species. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 9(2): 280-285. DOI:10.12691/aees-9-2-20

Laureati, M., Proserpio, C., Jucker, C., y Savoldelli, S. (2016). New sustainable protein sources: consumers willingness to adopt insects as feed and food. *Italian Journal of Food Science*, 28(4): 652-668.

Lensvelta, E., y Steenbekkers, L. (2014). Exploring Consumer Acceptance of Entomophagy: A Survey and Experiment in Australia and the Netherlands. *Ecology of Food and Nutrition*. 53:543-561

Loh, T.C., Lee, Y.C., Liang, J. B., y Tan, D. (2005). Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*, 96(1): 111-114.

Mahboubkhomami, A., Mammadov, G. M., Fatemichokaml, A., y Sedaghatthoor, S. (2016). Growth and reproductive performance of *Eisenia foetida* in cow manure, cow

manure sugarcane bagasse, and cow manure sawdust waste. *Applied Ecology and Environmental Research*}, 14(1): 237-247.

Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197: 1-33. <https://doi.org/10.1111/anu.12466>

Min, K. T., Kang, M. S., Kim, M. J., Lee, S. H., Han, J. S., & Kim, A. J. (2016). Manufacture and quality evaluation of cookies prepared with mealworm (*Tenebrio molitor*) powder. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 29(1):12-18.

Marono, S., Loponte, R., Lombardi, P., Vassalotti, G., Pero, M. E., Russo, F., ... & Bovera, F. (2017). Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry Science*, 96(6): 1783-1790.

Musyoka, S. N., Liti, D. M., Ogello, E., & Waidbacher, H. (2019). Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*, 50(9): 2301-2315

Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197: 1-33. <https://doi.org/10.1111/anu.12466>

Marono, S., Loponte, R., Lombardi, P., Vassalotti, G., Pero, M. E., Russo, F., ... & Bovera, F. (2017). Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry Science*, 96(6): 1783-1790.

Monroy, F., Aira, M., & Domínguez, J. (2009). Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. *Science of the Total Environment*, 407(20): 5411-5416.

Moreno, J., Moral, R., García, M. J. L., Pascual, J. A., y Bernal, M. P. (2014). *Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones. Recursos orgánicos: aspectos agronómicos y medioambientales. Colección: de residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Ediciones Mundi-Prensa, España, 176.*

Musyoka, S. N., Liti, D. M., Ogello, E., & Waidbacher, H. (2019). Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*, 50(9): 2301-2315.

Nalunga, A., Komkech, A. J., Jjagwe, J., Magala, H., & Lederer, J. (2021). Growth characteristics and meat quality of broiler chickens fed earthworm meal from *Eudrilus eugeniae* as a protein source. *Livestock Science*, 245: 104394.

Norma Mexicana (NMX). (2008). *Humus de lombriz (lombricomposta)- especificaciones y métodos de prueba. NMX-FF-109-SCFI-2008. Diario Oficial de la Federación. México, DF.*

NRC (National Research Council).(1977). *Nutrient requirement of rabbits National Academy of Science, Washington, D.C.*



Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M. & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4):1080-1103.

Ngoc, T. N., Pucher, J., Becker, K., y Focken, U. (2016). Earthworm powder as an alternative protein source in diets for common carp (*Cyprinus carpio* L.).

*Aquaculture research*, 47(9):2917-2927.

Naik, P. R., Raman, G., Narayanan, K. B., & Sakthivel, N. (2008). Evaluación de la diversidad genética y funcional de pseudomónadas fluorescentes solubilizantes de fosfato aisladas de suelo rizosférico. *Microbiología BMC*, 8(1):1-14.

Ovando, J. A. V., García, J. A. L., y Silvano, E. J. (2013). Efecto del proceso de secado de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en sus características nutricionales. *Quehacer Científico en Chiapas*, 8(2): 44-50.

Pathma, J., Sakthivel, N. (2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus*, 1-26. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26>

Pathma, J., Ayyadurai, N., & Sakthivel, N. (2010). Assessment of genetic and functional relationship of antagonistic fluorescent pseudomonads of rice rhizosphere by repetitive sequence, protein coding sequence and functional gene analyses. *The Journal of Microbiology*, 48(6):715-727.

Pathma, J., Kennedy, R., & Sakthivel, N. (2011). Mechanisms of fluorescent pseudomonads that mediate biological control of phytopathogens and plant growth

promotion of crop plants. In *Bacteria in agrobiology: plant growth responses* (pp. 77-105). Springer, Berlin, Heidelberg.

Pedersen, J. C., & Hendriksen, N. B. (1993). Effect of passage through the intestinal tract of detritivore earthworms (*Lumbricus spp.*) on the number of selected Gram-negative and total bacteria. *Biology and Fertility of Soils*, 16(3):227-232.

Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., & De Guevara, O. L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of food composition and analysis*, 10(2):142-157.

Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., & Ori, L. (2019). Vermicompostaje de diferentes materiales orgánicos utilizando la lombriz de tierra epigea *Eisenia foetida*. *Revista Internacional de Reciclaje de Residuos Orgánicos en la Agricultura*, 8(1):23-36.

Reynolds, J. W., Hasson, A. J., & McAlpine, D. F. (2015). Earthworms (*Oligochaeta: Lumbricidae*) of the Nepisiguit Protected Natural Area and region, New Brunswick, with additions to the province. *Megadrilogica*, 19(1):1-10.

Ravindran, B., Lee, S. R., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Chung, W. J., Balasubramanian, B. y Sekaran, G. (2019). Positive effects of compost and vermicompost produced from tannery waste-animal fleshing on the growth and yield of commercial crop-tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant. *Journal of environmental management*, 234:154-158.

Rumpold, B. A. y Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition and food research*, 57(5):802-823.

Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17:1-11.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Lombricultura.

Schuldt, M. (2006). *Lombricultura. Teoría y práctica*. Mundi-Prensa Libros.

Sinha, R. K.; Herat, S.; Valani, D. B. and Chauhan, K. A. (2009). Earthworms: the unheralded soldiers of mankind and farmer's friend working day and night under the soil: reviving the dreams of Sir Charles Darwin for promoting sustainable agriculture. *American-Eurasian J. Agric. Environ, Sci.* 5(5):5-13.

Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Chandran, V., y Soni, B. K. (2010)a. Vermiculture technology: reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. *Technology and Investment*, 1(03):155-172.

Sinha, R. K., Heart, S., Valani, D. y Chauhan, K. (2010) b. Earthworms—the environmental engineers: review of vermiculture technologies for environmental management and resource development. *International Journal of Global Environmental* 3(4):265-292.

Singleton, D. R., Hendrix, P. F., Coleman, D. C., & Whitman, W. B. (2003). Identification of uncultured bacteria tightly associated with the intestine of the

earthworm *Lumbricus rubellus* (*Lumbricidae*; *Oligochaeta*). *Soil Biology and Biochemistry*, 35(12):1547-1555.

Singh, S., Singh, J., & Vig, A. P. (2016). Earthworm as ecological engineers to change the physico-chemical properties of soil: soil vs vermicast. *Ecological Engineering*, 90:1-5.

Suleiman, H., Rorat, A., Grobelak, A., Grosser, A., Milczarek, M., Płytycz, B., ... y Vandenbulcke, F. (2017). Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*. *Bioresource Technology*, 241: 103-112

Sun, Z., & Jiang, H. (2017). Nutritive evaluation of earthworms as human food. *Future Food*, 37:1-8.

Suhane, R. K. (2007). Vermicompost. Publication of Rajendra Agriculture University, Pusa, 1(2):88. Retrieved from: info@ kvksmp.org.

Sujit ,A.(2012). Vermicompost, the history of organic gold. *Agricultural Sciences*, 3 (7):1-13. Article ID:24396.

Struți, D., Boaru, A., Mierliță, D., & Georgescu, B. (2018). Studies regarding the effects of the redworm meal utilization as a protein substitute in Japanese quail diets. *Advances in Agriculture & Botany*, 10(3):105-113.

Tabassum-Abbasi, T., Abbasi, T., y Abbasi, S. A. (2016). Reducing the global environmental impact of livestock production: the minilivestock option. *Journal of Cleaner Production*, 112:1754-1766.

Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L. y Li, F. (2019). Insectos comestibles como fuente de alimento: una revisión. Producción, Procesamiento y Nutrición de Alimentos, 1 (1): 1-13.

Tedesco, D. E., Conti, C., Lovarelli, D., Biazzi, E., & Bacenetti, J. (2019). Bioconversion of fruit and vegetable waste into earthworms as a new protein source: The environmental impact of earthworm meal production. Science of the Total Environment, 683: 690-698.

Tedesco, D., Castrica, M., Tava, A., Panseri, S., & Balzaretto, C.M. (2020). De una perspectiva de seguridad alimentaria: El papel de las lombrices de tierra como alimentos y piensos para garantizar la seguridad alimentaria y valorar el desperdicio de alimentos. Insectos, 11(5): 293. <https://doi.org/10.3390/insects11050293>

Vázquez González, M. M. (1997). Estudio de la fauna edáfica en una selva baja inundable de la Reserva de la biósfera de Sian Ka'an Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto, (B051), 4: 40-67.

Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annual Review of Entomology, 58: 563-583.

Verbeke, W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. Food Quality and Preference. 39: 147-155

Vielma, R. A., Ovalles, D. J. F., León, L. A., y Medina, A. (2003). Valor nutritivo de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente de aminoácidos y su estimación cuantitativa mediante cromatografía en fase reversa (HPLC) y derivatización precolumna con o-ftalaldehído (OPA). Archives Pharmaceutica, 44(1): 43-58.

Vivas, A., Moreno, B., Garcia-Rodriguez, S., & Benitez, E. (2009). Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresource Technology*, 100(3)1319-1326.

Villegas-Cornelio, V. M., Y Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2):393-406. . <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>

Wang, L., Li, J., Jin, J. N., Zhu, F., Roffeis, M., & Zhang, X. Z. (2017). A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment. *Aquaculture Nutrition*, 23(5): 983-993.

Yasir, M., Aslam, Z., Kim, S. W., Lee, S. W., Jeon, C. O., & Chung, Y. R. (2009). Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. *Bioresource technology*, 100(19): 4396-4403.

Yoo, J. S., Cho, K. H., Hong, J. S., Jang, H. S., Chung, Y. H., Kwon, G. T., ... & Kim, Y. Y. (2019). Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(3): 387.

Zhang, B. G., Li, G. T., Shen, T. S., Wang, J. K., & Sun, Z. (2000). Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the

earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*. Soil Biology and Biochemistry, 32(14): 2055-2062.

Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. Food Research International, 77: 460-466.

## ANEXO 1

### Obtención de materia prima



Predio las Animas (UAM-X)



Centro de Investigaciones  
Biológicas A.C. (CIBAC)



Aldea Verde  
Del Bejuco 4, colonia El Carrizal,  
Querétaro, México.

HUMUS: PAJA  
ESTIERCOL DE VACA  
MO DE CULTIVOS

HUMUS:  
PAJA  
ESTIERCOL DE VACA  
VEGETALES

HUMUS:  
PAJA CULTIVO CHAMPIÑÓN  
ESTIERCOL DE VACA

NORMA	PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO	ÁNIMAS	CIBAC	Aldea verde
NMX-FF-109-SCFI-2007	pH	5.5 a 8.5	9	7	6
	Humedad	20-40 %	30%	40%	40%
	C/N	menor a 20	20	20	20



## ANEXO 2

Recolección y selección de lombriz roja californiana (*E. foetida*) para la obtención de la harina de lombriz.

### RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Se recolectaron 250 kg lombricomposta.  
Seleccionaron lombriz adulta con longitud de 8.5 cm±  
Peso de 0.45g±  
Obteniendo 25000 g de lombriz viva.



Separar la lombrices de su medio



Limpieza y selección



Lavado



Purgar lombrices por un día con alimento basado en gelatina o sémola de maíz



Sacrificar en solución salina al 4% ( por 20 min).



Lombriz (secada por 24 hrs a 55°C) y molida.



Lombriz seca y molida.

Yegnanarayan et al., 1987; Alcivar et al., 2016

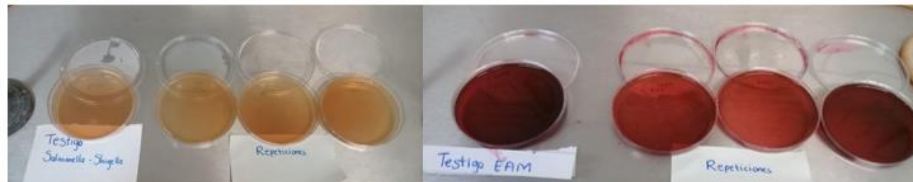
40

## ANEXO 3

### Análisis microbiológico de la harina de lombriz (*E. foetida*)

#### Análisis microbiológico de la harina de lombriz (*E. foetida*)

Microorganismo		Cuantificación
Coliformes totales		Negativo
Hongos		Negativo
Levaduras		Negativo
Bacterias	Escherichia coli	Negativo
	Clostridium spp.	Negativo
	Salmonella spp.	Negativo



- a) Siembra de harina de lombriz en medio Salmonella-Shigella sin presencia de bacterias, b) Siembra de harina de lombriz en medio Eosina Azul de Metileno sin presencia de bacterias.

Concordando con Conti, 2019, de conformidad con el reglamento CE No 2073/2005 (Comisión Europea, 2005)

Norma ISO 6579:2008

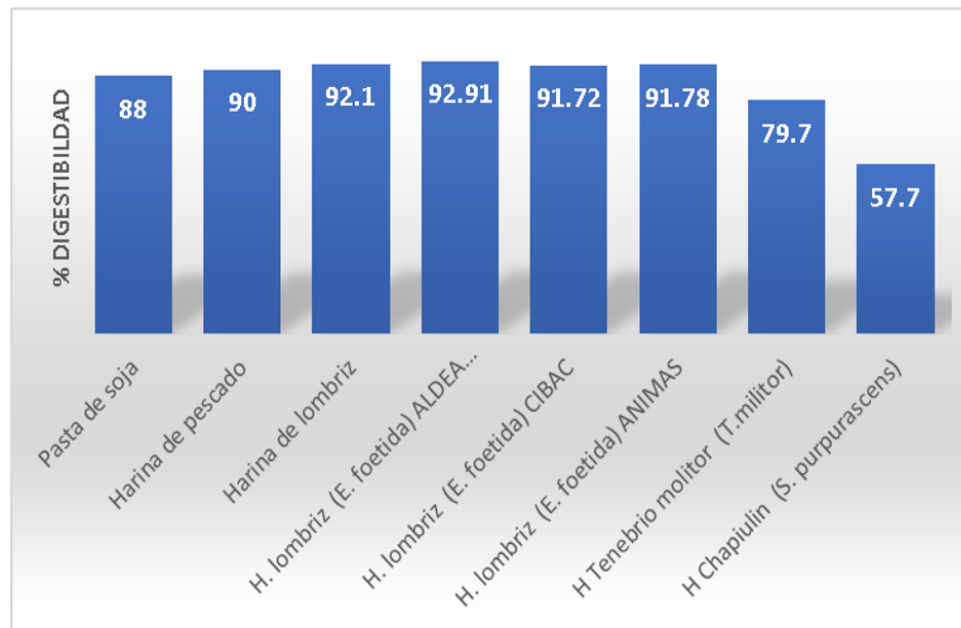
La ausencia de Salmonella spp. y es un criterio para la inocuidad de los alimentos.

## ANEXO 4

### Digestibilidad en pepsina de la harina de lombriz, comparada con otras harinas.

El alto contenido de los nutrientes digeribles y energía metabolizable de la harina de lombriz la hacen una alternativa en el uso de la alimentación animal (Castro *et al.*, 2020).

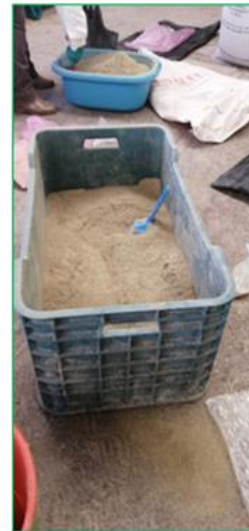
#### Determinación de la digestibilidad *in vitro*



Poseen un alto contenido de nutrientes como son proteínas, lípidos, entre otros y que pueden utilizarse en la alimentación animal.

## ANEXO 5

### Paletización del alimento



## ANEXO 6

**Ingredientes, proporciones y composición química utilizadas en la formulación de los pellets para conejo (g/kg MS) del control y suplementadas a 3 y 6 % con harina de lombriz (*Eisenia foetida*) y composición química después de dos años de almacenamiento.**

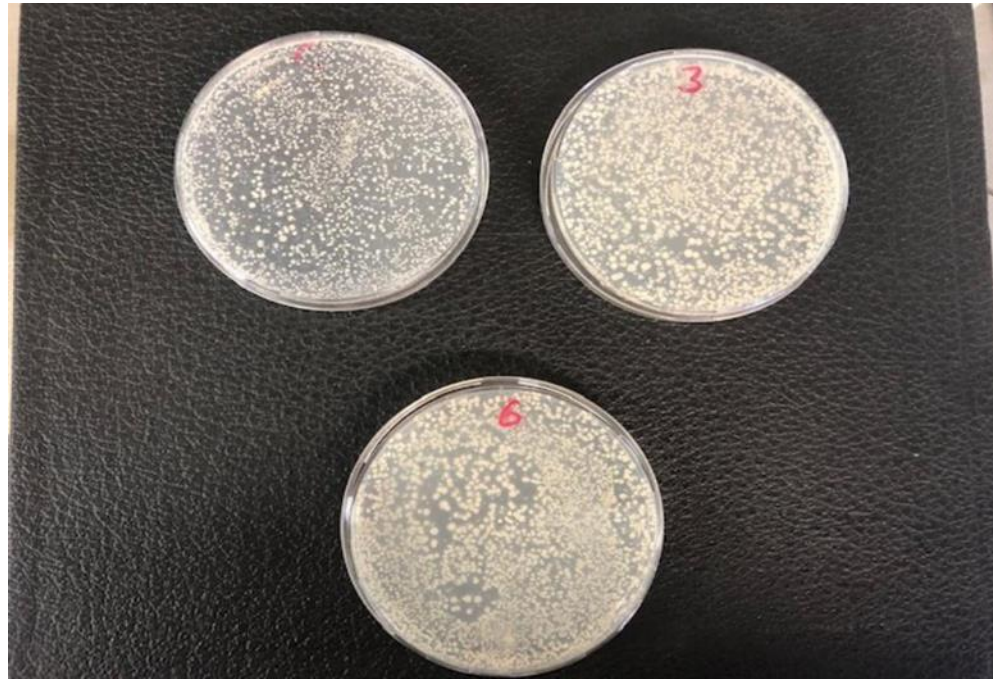
Composición química del alimento peletizado	Control	3 %	6 %
MS (g/kg MF)	941 ± 3.5	944 ± 0.5	967 ± 0.2
Materia orgánica	905 ± 2.7	902 ± 1.3	907 ± 2.5
Proteína cruda	174 ± 2.4	168 ± 3.2	167 ± 4.4
Grasa	36 ± 3.3	36 ± 1.7	36 ± 1.4
FDN	420 ± 25.8	405 ± 24.7	405 ± 13.3
FDA	234 ± 21	233 ± 6.6	244 ± 10.5
Composición química del alimento peletizado almacenado durante dos años			
MS (g/kg MF)	950 ± 1.5	968 ± 0.5	985 ± 0.5
Materia orgánica	904 ± 4.3	898 ± 9.5	906 ± 1.6
Proteína cruda	170 ± 2.4	166 ± 3.2	161 ± 4.4
Grasa	34 ± 1.7	35 ± 0.1	4.7 ± 0.3
FDN	415 ± 27.1	408 ± 12.5	416 ± 15.2
FDA	230 ± 22	236 ± 7.4	243 ± 9.2

- La composición química del alimento peletizado no presenta cambios después del almacenamiento de dos años.
- Las condiciones de almacenamiento a una temperatura de 25 °C, en condiciones de baja humedad y en bolsas negras dentro de botes de plástico grado alimenticio, herméticamente cerrados, mantuvieron el alimento en condiciones estables.



## ANEXO 7

Microbiológico realizado el alimento peletizado después de almacenado por dos años.



## ANEXO 8

### CONTROL (0%)

REQ			15.5	3	30	16					15.5	0.5	0.3	0.8	0.32				
Ingred	MATERIA SEC	MATERIA OR	PROTEINAS	GRASA	FDN	FDA	Cenizas	ELN	EM, MJ	E, Mcal	Starch	Ca	P	lys	Met	Trp			
SOYA	93.1	93.0	48.0	0.9	16.0	4.8	7.0	28.1	12.9	3.1	4.5	0.3	0.7	3.0	0.7	0.8			
MAIZ	91.1	98.7	9.6	4.2	8.7	2.0	1.3	76.1	9.6	2.3	68.0	0.1	0.3	0.8	0.2	0.1			
ALFALFA	90.0	87.0	16.3	1.1	45.8	38.9	13.0	23.7	10.0	2.4	2.0	1.5	0.3	0.8	0.3	0.3			
AVENA henc	93.1	89.4	5.8	2.4	69.1	43.4	10.6	12.1	7.5312	1.8	0.0	0.3	0.2	0.8	0.2	0.1			
H. LOMBRIZ	90.3	85.9	61.4	5.3	0.0	0.0	14.1	19.2	12.9	3.1	0.0	0.5	0.9	4.8	2.5	0.92			
MELAZA	81.9	89.1	7.5	0.0	0.0	0.0	10.9	81.6	12.7	3.0	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0			
Manteca	90.0			90.0					30.0	7.2									
SVM	100.0																		
Sal	100.0																		
Antibiotics	100.0																		
SAL	100.0																		CONTROL
																			DIETA FINAL
TO	MATERIA SEC	MATERIA OR	PROTEINAS	GRASA	FDN	FDA	Cenizas	ELN	EM, MJ	E, Mcal	Starch	Ca	P	lys	Met	Trp	Kg MF	A 1 Kg MF	
SOYA	15	13.9	7.2	0.1	2.4	0.7	1.1	4.2	1.9	0.5	0.7	0.0	0.1	0.5	0.1	0.1	16.1	147.6	
MAIZ	20.8	20.5	2.0	0.9	1.8	0.4	0.3	15.8	2.0	0.5	14.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	22.8	209.2	
ALFALFA	30	26.1	4.9	0.3	13.8	11.7	3.9	7.1	3.0	0.7	0.6	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	33.3	305.5	
AVENA	29	25.9	1.7	0.7	20.0	12.6	3.1	3.5	2.2	0.5	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	31.1	285.4	
H. LOMBRIZ	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
MELAZA	1.5	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	16.8	
Manteca	1.5	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	15.3	
SVM	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	13.7	
Antibiotics	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.6	
Sal	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.8	
	100	87.8	15.9	3.4	38.0	25.4	8.5	31.9	9.8	2.3	15.4	0.6	0.3	1.1	0.3	0.3	109.1	1000.0	

:40 ppm of tiamulin fumarate A (Caliermutin 2%, Laboratorios Calier S.A., Barcelona, Spain), 120 ppm of neomycin sulphate  
 (Hipramix 14%, Hipra S.A., Girona, Spain), 29 ppm of lincocin 7 hydrochloride and 29 ppm of spectinomycin sulphate  
 :Supplied per kg of feed: vitamin A: 8375 IU; vitamin D3: 750 IU; vitamin E: 20 mg; Vitamin K3: 1 mg; vitamin B1: 1 mg; vitamin  
 B2: 2 mg; vitamin B6: 1 mg; nicotinic acid: 20 mg; choline chloride: 250 mg; magnesium: 290 mg; manganese: 20 mg; zinc: 60 mg;  
 iodine: 1.25 mg; iron: 26 mg; copper: 10 mg; cobalt: 0.7 mg; butyl hydroxylanisole and ethoxiquin mixture: 4 mg.





## INCLUSIÓN DEL 6 % DE HARINA DE LOMBRIZ EN LA DIETA

REQ			15.5	3	30	16					15.5	0.5	0.3	0.8	0.32			
Ingred	MATERIA SECA	MATERIA ORGÁNICA	PROTEINAS	GRASA	FDN	FDA	Cenizas	ELN	EM, MJ	E, Mcal	Starch	Ca	P	lys	Met	Trp		
SOYA	93.1	93.0	48.0	0.9	16.0	4.8	7.0	28.1	12.9	3.1	4.5	0.3	0.7	3.0	0.7	0.8		
MAIZ	91.1	98.7	9.6	4.2	8.7	2.0	1.3	76.1	9.6	2.3	68.0	0.1	0.3	0.8	0.2	0.1		
ALFALFA	90.0	87.0	16.3	1.1	45.8	38.9	13.0	23.7	10.0	2.4	2.0	1.5	0.3	0.8	0.3	0.3		
AVENA hend	93.1	89.4	5.8	2.4	69.1	43.4	10.6	12.1	7.5312	1.8	0.0	0.3	0.2	0.8	0.2	0.1		
H. LOMBRIZ	90.3	85.9	61.4	5.3	0.0	0.0	14.1	19.2	12.9	3.1	0.0	0.5	0.9	4.8	2.5	0.92		
MELAZA	81.9	89.1	7.5	0.0	0.0	0.0	10.9	81.6	12.7	3.0	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0		
Manteca	90.0			90.0					30.0	7.2								
SVM	100.0																	
Antibiotics	100.0																	
SAL	100.0																	
																	6%	
																	DIETA FINAL	
T8%	MATERIA SECA	MATERIA ORGÁNICA	PROTEINAS	GRASA	FDN	FDA	Cenizas	ELN	EM, MJ	E, Mcal	Starch	Ca	P	lys	Met	Trp	Kg MF	A 1 Kg MF
SOYA	7	6.5	3.4	0.1	1.1	0.3	0.5	2.0	0.9	0.2	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	7.5	68.8
MAIZ	22.8	22.5	2.2	0.9	2.0	0.5	0.3	17.4	2.2	0.5	15.5	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	25.0	228.9
ALFALFA	30	26.1	4.9	0.3	13.8	11.7	3.9	7.1	3.0	0.7	0.6	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	33.3	305.0
AVENA	29	25.9	1.7	0.7	20.0	12.6	3.1	3.5	2.2	0.5	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	31.1	284.9
H. LOMBRIZ	6	5.2	3.7	0.3	0.0	0.0	0.8	1.2	0.8	0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.1	6.6	60.8
MELAZA	1.5	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	16.8
Manteca	1.5	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	15.2
SVM	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	13.7
Antibiotics	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.6
SAL	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.8
	100	87.5	15.9	3.7	36.9	25.0	8.8	32.3	9.7	2.3	16.4	0.6	0.3	1.1	0.4	0.3	109.3	1000.5

**ANEXO 9**  
**DIETA FINAL**

	CONTROL			3%			6%			Total de alimento
	DIETA FINAL A 1Kg MF	Por 13 Kg		DIETA FINAL A 1Kg MF	Por 13Kg		DIETA FINAL A 1Kg MF	Por 13 Kg		
SOYA	147.606686	1918.88691		108.145777	1405.89511		68.7570759	893.841986		4218.62401
MAIZ	209.230442	2719.99575		219.088784	2848.15419		228.929086	2976.07812		8544.22805
ALFALFA	305.530095	3971.89123		305.250305	3968.25397		304.971028	3964.62336		11904.7686
AVENA	285.388858	3710.05515		285.127513	3706.65767		284.866646	3703.2664		11119.9792
H. LOMBRIZ	0	0		30.4236185	395.50704		60.791567	790.290371		1185.79741
MELAZA	16.7935193	218,315751		16.7781406	218.115828		16.7627901	217.916271		654.347851
MANTECA	15.2765047	198.594562		15.2625153	198.412698		15.2485514	198.231168		595.238428
SVM	13.7488543	178.735105		13.7362637	178.571429		13.7236962	178.408051		535.714585
Antibióticos	4.58295142	59.5783685		4.57875458	59.5238095		4.57456542	59.4693504		178.571528
Sal	1.83318057	23.8313474		1.83150183	23.8095238		1.82982617	23.7877402		71.4286114
	999.991091	12999.8842		1000.22317	13002.9013		1000.45483	13005.9128		39008.6983

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - UNIDAD XOCHIMILCO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

**CUARTA REUNIÓN**  
INTERINSTITUCIONAL SOBRE DIVERSIDAD  
**BIOLÓGICA**

OTORGAN LA PRESENTE

**CONSTANCIA**

A

**BEATRIZ MÁRQUEZ CRUZ, BEATRIZ S. SCHETTINO BERMÚDEZ, REY GUTIÉRREZ TOLENTINO, ANGÉLICA JIMÉNEZ AGUILAR, NORMA NOGUEDA HERNÁNDEZ**

Por su participación con el cartel

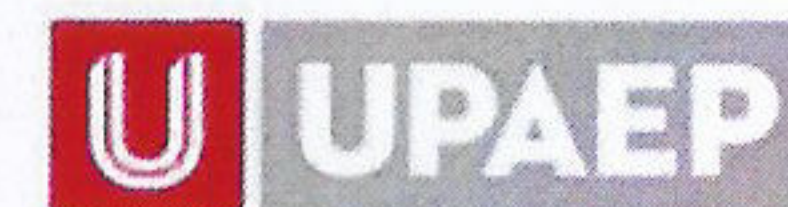
**“Caracterización de la composición química y digestibilidad in vitro de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)”**

Ciudad de México, 24 de Mayo de 2019

M.C. María Elena Contreras Garfias  
Directora de la División de CBS

Dr. Rey Gutiérrez Tolentino  
Jefe del Departamento de PAyA

M.C. Dorys Primavera Orea Coria  
Comité Organizador



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - UNIDAD XOCHIMILCO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

QUINTA REUNIÓN  
INTERINSTITUCIONAL SOBRE DIVERSIDAD  
**BIOLÓGICA**  
EVENTO CELEBRADO A DISTANCIA  
OTORGAN LA PRESENTE  
**CONSTANCIA**  
A

Beatriz Márquez Cruz, Beatriz Sofía Schettino Bermúdez,  
Rey Gutiérrez Tolentino, Angélica Jiménez Aguilar, Manuel González Ronquillo

POR SU VALIOSA PARTICIPACIÓN EN LA  
QUINTA REUNIÓN INTERINSTITUCIONAL SOBRE DIVERSIDAD BIOLÓGICA  
CELEBRADA DEL 26 AL 29 DE MAYO DE 2020. CDMX, MÉXICO.

**Caracterización de pellet suplementado con harina de lombriz  
roja californiana (*Eisenia foetida*) para dieta de conejos**



MTRA. MARÍA ELENA CONTRERAS GARFIAS  
DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS



M.C. DORYS PRIMAVERA OREA CORIA  
COMITÉ ORGANIZADOR

