



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

CARRERA DE BIOLOGÍA

**Harina de lombriz de tierra (*Eisenia foetida* Sav.)
obtenida en un modelo de lombricompostaje
¿Una alternativa alimenticia?**

T É S I S

Que para obtener el título de:

BIÓLOGO

P R E S E N T A

Héctor Antonio Pérez Hernández

DIRECTORA DE TESIS

Dra. María Eugenia Garín Aguilar



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de México, 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico esta tesis a mis padres, por todo el amor, el sacrificio y la entrega, soy el reflejo de su cariño, de sus valores y de su esfuerzo, este y cada éxito de mi vida siempre será gracias a ustedes.

A mis familiares, amigos y profesores, tengo la suerte de estar rodeado de grandes personas, las cuales me llenan de cariño y de buenos consejos, a todos ustedes mi más sincero agradecimiento.

A quien lea esta tesis, espero que el esfuerzo vertido en este trabajo le sea de utilidad.

Agradecimientos

A Dios, por darme la vida, el entendimiento y el coraje para perseguir mis sueños y servir a los demás.

A mis padres y mis hermanos, por ser el motor y el soporte mas grande que he tenido, en ustedes esta mi amor y mis agradecimientos, es gracias a ustedes que me he convertido en quien soy.

A mi familia, por escucharme y darme siempre el buen consejo, apoyándome siempre en cada paso de mi vida. Agradezco especialmente a mi tía Martha, quien fue un gran apoyo para la escritura de este trabajo.

A mi directora de tesis, la dra. María Eugenia Garín, por todas las enseñanzas que me ha dado, no solo del laboratorio si no de vida, su tutela me ha ayudado a crecer como profesionista y como persona, gracias por su entrega, por su tiempo, por su paciencia y también por sus regaños. Mis mas sinceros y afectuosos agradecimientos a usted.

Al maestro Alfonso Reyes, por su tutela y dedicación, su pasión por el cuidado de ambiente es inspiradora y me ha motivado a elegir el camino que ahora he elegido. Usted ha creado este trabajo, basado en el servicio y en la conservación ambiental. Gracias por todo el esfuerzo que hace y gracias por haberme brindado siempre los mejores consejos.

A mis profesores, por su vocación y dedicación de excelencia, en este trabajo se ve reflejado todos aquellos conocimientos y enseñanzas que los profesores me han brindado. Agradezco especialmente a mis sinodales, a la doctora Elvia Gallegos, a la maestra LLaraí Gaviria y a la maestra Josefina Vázquez, esta Tesis en buena medida es el reflejo de sus consejos y de su trabajo, la elaboración de este trabajo no habría sido lo mismo sin su tutela.

A mis compañeros y amigos de laboratorio, Josué, Larissa, Yarumi, Sandi, Itzel, Dieguito y Tere, a ustedes no solo les agradezco por todas las veces que me ayudaron en los experimentos, si no, también les quiero dar las gracias por siempre tener una sonrisa y hacer del laboratorio un lugar mejor.

A mis amigos, Bonitzú, el Mau, Monchi, Viri, Sandi, Lili, Pichi, Carlitos, Deni, Alfredo, Brendita, Sara y Steff y todos los que faltan, gracias por ser tan buenos amigos, con ustedes he crecido y de todos he aprendido, además, las risas nunca han faltado. Los quiero. Saludos.

A Sandra la Iguana Pardo, gracias por ser tan buena mejor amiga, por tus consejos, por tu cariño, y por tus bromas jocosas, tu eres de lo mejor que me ha dejado la universidad. Te quiero mucho pardita.

Al PROMIR por haber donado el material biológico usado en esta tesis y por su labor en el cuidado ambiental.

Contenido

Lista de figuras	6
Lista de cuadros.....	7
Abreviaturas	8
Resumen	10
I. Introducción	11
II. Marco teórico	14
2.1 Lombricompostaje.....	14
2.1.1 Compostaje	14
2.1.2 Lombricompostaje.....	15
2.1.3 Factores importantes para el lombricompostaje.....	16
2.1.3.1 Sustrato.....	16
2.1.3.2 Parámetros fisicoquímicos del sustrato durante el lombricompostaje.....	16
2.1.4 La lombricultura en México	17
2.1.5 Lombrices de tierra	18
2.1.6 Generalidades de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i> Savigny, 1826)	18
2.1.6 Alimentación de la lombriz de tierra.....	21
2.1.7 Justificación de <i>Eisenia foetida</i> como modelo para lombricompostaje.....	21
2.2 Alimentos	22
2.2.1 Generalidades de los alimentos.....	22
2.2.2 Componentes nutricionales	22
2.2.2.1 Agua.....	23
2.2.2.2 Vitaminas y minerales	23
2.2.2.3 Lípidos.....	24
2.2.2.4 Proteínas	24
2.2.2.5 Carbohidratos	25
2.2.2.6 Fibra.....	25
2.2.3 Inocuidad.....	26

2.3 La lombriz de tierra como alimento	27
2.3.1 Consumo de la lombriz de tierra	27
2.3.2 Aspectos histórico-culturales del consumo de la lombriz de tierra	27
III. Antecedentes	29
IV. Justificación	33
V. Objetivos	34
5.1 Objetivo general	34
5.2 Objetivos particulares	34
VI. Materiales y métodos	35
6.1 Modelo experimental, <i>Eisenia foetida</i>	35
6.2 Fase experimental	36
6.2.1 Obtención de la harina de lombriz	36
6.2.3 Análisis químico proximal de la harina de lombriz	37
6.2.3.1 Cenizas totales	38
6.2.3.2 Lípidos	38
6.2.3.3 Proteínas	38
6.2.3.4 Fibra cruda	39
6.2.3.5 Carbohidratos	39
6.2.4 Toxicidad aguda (LD ₅₀) de la harina de lombriz	39
6.3 Fase teórica	40
6.3.1 Análisis normativo en materia alimentaria	40
VII. Resultados	42
7.1 Análisis químico proximal de la harina de lombriz	42
7.2 Determinación de toxicidad aguda LD ₅₀	42
7.3 Revisión normativa en materia alimentaria	43
VIII. Análisis y discusión de resultados	50
IX. Conclusiones	58
Literatura citada	59
Apéndices	69

Lista de figuras

Figura 1. <i>Eisenia foetida</i> (PROMIR, 2019).....	19
Figura 2. Anatomía de <i>E. foetida</i> (imagen modificada de Barbado, 2003) ..	20
Figura 3. Crianza de la lombriz de tierra alimentada con composta madura en contenedores de plástico (PROMIR, 2019).....	35
Figura 4. Diagrama procedimental.....	42
Figura 5. Peso corporal de ratones ICR (CD1) por día, después de una administración de diferentes dosis de harina de <i>Eisenia foetida</i>	43
Figura 6. Aumento de peso corporal en ratones después de una administración única de diferentes dosis de harina de lombriz.....	52
Figura 7. Lombricompostaje: A) desechos del comedor universitario, B) desechos de jardinería, C) compostaje de RSO, D) proceso de aireación de la composta, E) lombrices en composta madura	70
Figura 8. A) muestra de harina de lombriz calcinada en crisoles, B) mufla a 600 °C	71
Figura 9. Extracción de lípidos totales de la harina de lombriz montada en un equipo Soxhlet	73
Figura 10. A) Digestión de la harina de lombriz, B) destilación de la harina de lombriz digerida	75
Figura 11. Filtración al vacío de la solución digerida de harina de lombriz.....	77

Lista de cuadros

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Eisenia foetida</i> (Savigny, 1826) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/)	18
Cuadro 2. Componentes nutrimentales de harina de <i>Eisenia foetida</i>	42
Cuadro 3. Leyes del orden federal en materia de alimentos	44
Cuadro 4. Reglamentos de las leyes federales en materia de alimentos	45
Cuadro 5. Normas oficiales mexicanas en materia de alimentos	46
Cuadro 6. Límites máximos permisibles para las sémolas (NOM-247-SSA1-2008) (DOF, 2009)	47
Cuadro 7. Principios y directrices del Codex Alimentarius	48
Cuadro 8. Límites máximos permisibles de cagentes deletereos en alimentos CXS 193-1995	49
Cuadro 9. Componentes nutrimentales de la carne de <i>Eisenia foetida</i> y alimentos cárnicos convencionales expresados en base húmeda	51

Abreviaturas

AQP	Análisis químico proximal
LD ₅₀	Dosis letal media
DOF	Diario Oficial de la Federación
RSU	Residuo sólido urbano
RSO	Residuo sólido orgánico
FORSU	Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Lista de apéndices

Apéndice 1. Crianza de la lombriz de tierra	69
Apéndice 2. Determinación de cenizas totales (AOAC, 923.03)	71
Apéndice 3. Determinación de lípidos totales, método de Soxhlet (AOAC, 996.06)	72
Apéndice 4. Determinación de proteínas, método de micro Kjeldahl (AOAC, 2001.11)	74
Apéndice 5. Determinación de fibra, método de Kennedy (AOAC, 91.43)...	76

Resumen

Una alternativa para el aprovechamiento y la disminución del impacto que provoca la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos es la lombricultura, en la cual se utilizan las lombrices para acelerar la transformación de desechos orgánicos, generando beneficios como la lombriz en sí misma, la cual, en algunas culturas se ha llegado a aprovechar como fuente de alimento debido a su elevado contenido proteico que ha sido demostrado en diferentes proyectos de investigación. Por ello, el presente trabajo refuerza el conocimiento teórico y práctico con la finalidad de evaluar la posibilidad de que la harina de lombriz generada en un esquema de lombricompostaje pueda ser aprovechada como un alimento. Para ello se determinó la composición nutricional por medio de un análisis químico próxima. Además, se evaluó la toxicidad aguda del producto determinando su dosis letal (LD_{50}) como un preliminar de la inocuidad de la harina y, finalmente, se examinaron los diferentes instrumentos jurídicos nacionales que definen y establecen los requerimientos de salubridad, además de regular la producción de los alimentos.

Los resultados del análisis químico proximal indicaron que la harina de lombriz criada en un modelo de lombricompostaje de la FES Iztacala UNAM tiene un contenido de 10.41% de cenizas, 13.16% de lípidos totales, 64.29% de proteínas, 1.77% de fibra cruda y 10.47% de carbohidratos. La administración aguda e intragástrica de la harina no resultó ser tóxica en dosis de <5000 g/kg y en un periodo de 14 días. Además, la actual legislación no contempla el aprovechamiento de fuentes alimenticias no tradicionales, como la harina de lombriz; se sugiere una modificación a fin de que se incluyan y regulen nuevas fuentes de alimento.

Como conclusión, la harina de *Eisenia foetida* generada en un esquema de lombricompostaje evidenció un potencial nutricional como un posible alimento al mostrar un elevado contenido de proteínas, así como una ausencia de toxicidad aguda en las dosis administradas.

I. Introducción

En la actualidad existe una problemática ambiental y social relacionada con los residuos antropogénicos y el manejo que a estos se les da, por lo que resulta indispensable buscar estrategias para lograr una mejor gestión y un aprovechamiento de dichos residuos.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF), define a los residuos como aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido. También se define como un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta ley y demás ordenamientos que de ella deriven. Los residuos se clasifican en función de sus características y orígenes en residuos de manejo especial (RME), residuos peligrosos (RP) y residuos sólidos urbanos (RSU). Los RSU son aquellos residuos resultado de las actividades domésticas o provenientes de otras actividades desarrolladas dentro de establecimientos o en la vía pública, siempre que no sean considerados de otra índole (DOF, 2018a).

En México se generan a diario 102895 toneladas de RSU, de los cuales se recolectan 83.93% y se confinan en sitios de disposición final el 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los mismos (SEMARNAT, 2017). De acuerdo con el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIAR) se establece que los RSU deben ser depositados o confinados de manera permanente en sitios de disposición final, que permitan evitar su presencia en el ambiente y las posibles afectaciones a la salud de las poblaciones, así como de los ecosistemas (SNIAR-SEMARNAT, 2013).

Sin embargo, la situación del manejo de los RSU dista mucho de ser la adecuada, pues se producen efectos ambientales como el impacto estético negativo al paisaje, la contaminación del suelo y de los mantos freáticos a causa de los lixiviados (sustancias líquidas contaminantes resultado de la descomposición de la basura), la liberación de biogás, el cual contribuye a la aportación de gases de efecto invernadero y, por tanto, al calentamiento global, y la proliferación de fauna nociva asociada a enfermedades y epidemias (Kiss y Encarnación, 2006).

De los RSU generados en México aproximadamente el 52.4% son de naturaleza orgánica, susceptibles a un mejor manejo y aprovechamiento (SEDESOL, 2013).

Una de las alternativas para el aprovechamiento y la disminución del impacto que provoca la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) es el lombricompostaje, proceso por el cual lombrices de tierra de los géneros: *Lumbricus*, *Perionyx*, *Bimastus*, *Eudrillus* y *Eisenia* contribuyen de forma directa al reciclaje de los desechos orgánicos. *Eisenia foetida* es la especie de lombriz más empleada debido a que reúne ciertas características como elevada voracidad, alta capacidad reproductiva y de adaptación a condiciones adversas, desde los 0 a los 3000 msnm. Como resultado del proceso de lombricompostaje se obtiene humus, el cual es empleado como abono por sus componentes ricos en minerales y en microorganismos. Asimismo, la carne de la lombriz puede ser susceptible de aprovechamiento debido a su alto contenido en proteínas y vitaminas (Martínez, 2014).

Se ha señalado que las lombrices de tierra pueden presentar un porcentaje de proteínas mayor al 60% (Vielma-Rondon *et al.*, 2003) minerales de importancia nutricional y aminoácidos esenciales como la fenilalanina y la leucina, entre otros (Vielma *et al.* 2007); por lo cual se ha propuesto el uso de la lombriz para el crecimiento de especies de engorda monogástricos, como son el cerdo y las gallinas.

Por otro lado, se ha observado que el contenido de los constituyentes nutricionales de la lombriz varía en función del sustrato en el cual el organismo es cultivado (Sales, 1996). Por ello, es importante determinar la composición nutricional de la lombriz criada en un modelo de lombricompostaje.

La composición nutricional de cualquier alimento se determina mediante el análisis químico proximal del mismo, donde a partir de diferentes técnicas cuantitativas es posible cuantificar sus parámetros de humedad, proteínas, lípidos, fibra y cenizas.

Para que un producto sea considerado un alimento, además de su composición nutricional, es importante confirmar que dicho producto es inocuo; es decir, que no representa un riesgo a la salud de quien lo consume. Si bien esta propiedad no ha sido estudiada directamente en la harina de lombriz generada en un esquema de lombricompostaje, algunos autores sugieren que los alimentos desarrollados a partir de lombriz de tierra no representan un peligro a la salud. Sin embargo, debido a la naturaleza heterogénea de la

FORSU en la que pudieran estar contenidos elementos con posibles impactos negativos en la salud, los cuales pudieran ser metabolizados por el tracto digestivo de la lombriz, es importante confirmar la inocuidad de la harina de lombriz de tierra alimentada con composta.

En el presente trabajo muestras de lombriz *Eisenia foetida* criadas en un modelo de lombricompostaje usando la fracción orgánica de los residuos sólidos generados en el comedor y jardinería de la Facultad de Estudios Superiores-Iztacala (FESI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se procesaron para preparar una harina a la que se le practicó el análisis químico proximal y se le evaluó la toxicidad (LD₅₀) como una valoración preliminar de la inocuidad. Asimismo, en este trabajo se examinaron los diferentes instrumentos normativos para esclarecer el panorama legal en el que se encuentra la lombriz de tierra como posible alimento.

Los resultados de esta investigación refuerzan el conocimiento para el uso de la lombricultura como una estrategia para el manejo adecuado de FORSU, permitiendo de esta forma, contribuir al cuidado y conservación del ambiente y, al mismo tiempo, aprovechar la harina de lombriz como un posible alimento.

II. Marco teórico

2.1 Lombricompostaje

2.1.1 Compostaje

El compostaje se puede interpretar como el conjunto de procesos metabólicos realizados por diferentes organismos que en presencia de oxígeno transforman el nitrógeno y el carbono presentes en los diferentes residuos sólidos orgánicos (RSO) para producir su propia biomasa. Como resultado de los procesos metabólicos se libera calor y se obtiene un sustrato sólido denominado composta (Haug, 1993; Eweis *et al.*, 1999).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Román *et al.*, 2013).

Las diferentes etapas de compostaje descritas por Román y colaboradores (2013) y su interacción con diferentes grupos de microorganismos (Laich, 2011) se describen a continuación:

- Fase mesófila. La materia inicial comienza a elevar su temperatura hasta los 45 °C debido a la actividad microbiana, principalmente originada por los siguientes géneros: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Enterobacter*, *Celullomonas*, entre otros. Dichos microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno generando calor; la descomposición de compuestos solubles, como el azúcar, produce ácidos orgánicos, razón por la cual el pH desciende hasta cuatro. Esta fase dura entre dos y ocho días.
- Fase termófila o de higienización. El pH asciende hasta ocho, la temperatura del material se eleva hasta los 60 °C debido a la presencia de microorganismos termófilos, entre los que se encuentran: *Bacillus*, bacterias de los géneros *Heterotrophic*, *Hydrogenobacter* y *Thermus*, entre otros; los cuales son capaces de descomponer la materia formada de hemicelulosa y otros compuestos de carbono

complejos, transformando el nitrógeno en amoníaco. Adicionalmente, al alcanzar temperaturas elevadas se eliminan bacterias y contaminantes de origen fecal, así como algunas esporas de hongos y semillas de malezas, razón por la cual se le conoce como higienización.

- Fase de enfriamiento o mesófila dos. La temperatura de la materia desciende de nuevo hasta los 40 o 45 °C y el pH se estabiliza a puntos cercanos a la neutralidad debido a que las fuentes de carbono y nitrógeno empiezan a agotarse. Durante esta fase continúa la degradación de polímeros como la celulosa.
- Fase de maduración. Durante esta fase se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

2.1.2 Lombricompostaje

El lombricompostaje es el proceso que utiliza la acción conjunta de microorganismos y lombrices para procesar material orgánico y obtener un producto comercializable, denominado “humus de lombriz”, el cual es un material similar a la tierra producido a partir de los RSO; tiene un alto nivel en nutrientes y se utiliza comúnmente como mejorador de suelos o sustituto de fertilizantes (Ruiz, 2011).

En el proceso de lombricompostaje, las lombrices participan en la descomposición de la materia orgánica por medio de procesos asociados al paso de la materia a través de sus intestinos, que incluyen todas las modificaciones que la materia orgánica en descomposición y los microorganismos sufren durante ese tránsito. Estas modificaciones incluyen la reducción del tamaño de partículas, la adición de azúcares y otras sustancias, la modificación de las poblaciones de la microfauna y microflora, la homogeneización del sustrato; incluye también la producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que constituyen una fuente de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos. La descomposición se ve también favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes que viven en el intestino de las lombrices; estos microorganismos producen enzimas extracelulares que descomponen celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material ingerido. Otras alteraciones que también favorecen la actividad microbiana y, por consiguiente, la descomposición de la materia orgánica, son modificaciones físicas del sustrato originadas por las actividades

excavadoras de las lombrices, como la aireación y la homogeneización. Además, la actividad directa de las lombrices aumenta significativamente la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato (Domínguez *et al.*, 2009).

El lombricompostaje es un proceso ecotecnológico de bajo costo que permite la bio-oxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, del cual se obtiene la vermicomposta, un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina. Este proceso tecnológico eficiente puede convertir residuos orgánicos en productos de valor agregado para las prácticas de restauración ecológica y programas de fertilidad del suelo (Villegas-Cornelio y Laines, 2017).

2.1.3 Factores importantes para el lombricompostaje

2.1.3.1 Sustrato

Uno de los principales elementos en el lombricompostaje es el sustrato, ya que éste será el hábitat y la fuente de alimentación de la lombriz de tierra. Dicho elemento debe estar constituido por el compost maduro que es el resultado de la degradación de la materia orgánica, la cual puede tener distintos orígenes como residuos de actividad ganadera, agrícola, urbana y forestal (Martínez, 2014).

Es importante mantener una relación de 25 a 35 unidades de carbono por cada unidad de nitrógeno; la cantidad de carbono presente debe ser considerablemente superior a la del nitrógeno para que cumpla con las exigencias energéticas de los microorganismos. Esta relación carbono/nitrógeno se logra al incorporar al sustrato residuos de origen, tanto vegetal como animal, en una relación de uno a tres (Díaz, 2002).

2.1.3.2 Parámetros fisicoquímicos del sustrato durante el lombricompostaje

Somarruba y Guzmán (2004) indicaron que los parámetros físicos y químicos adecuados para el desarrollo del lombricompostaje son los siguientes:

-
- Humedad. Este factor se debe mantener entre el 75 y el 80%; cuando el porcentaje es menor al 70% resulta desfavorable para la cría de las lombrices debido a que los organismos no tienen movilidad cuando no hay humedad en el sustrato (Pérez, 2003).
 - Temperatura. El intervalo ideal de temperatura se encuentra entre 15 y 24 °C, lo más cercano posible a la temperatura corporal de la lombriz que es de 19 °C. Por encima de 30 °C la producción del humus comienza a descender.
 - pH. Este es un factor determinante que debe estar comprendido entre 6.5 y 7.5. Los valores óptimos se ubican entre 6.8 y 7.2.

2.1.4 La lombricultura en México

La lombricultura nace en EUA a finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta del siglo XX; sin embargo, se desplaza a Europa y se establece en Italia donde logra un buen desarrollo. Posteriormente, se difunde al resto de los países europeos (Martínez, *et al.*, 1999). A principios de la década de los ochenta, la lombricultura llegó a México principalmente para mejorar la calidad de los suelos agrícolas y recuperar algunas zonas degradadas (Flores, 2010).

Esta actividad en México ha contado con el apoyo del sector privado y público desde sus inicios. LOMBRIMEX fue la primera empresa en aprovechar económicamente la lombricultura en 1990. Por su parte, SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) ha mantenido un fomento a la actividad, divulgando técnicas y realizando cursos. Para el año de 1999 la misma dependencia indicaba la existencia de diez hectáreas destinadas a dicha actividad, las cuales se calculaba que generaban un volumen de producción anual cercano a las diez mil toneladas (Martínez *et al.*, 1999).

En México, actualmente se tienen registradas aproximadamente 117 personas que se dedican a la lombricultura, de acuerdo con fuentes no oficiales (manualdelombricultura.com año 2019). De los cuales, hasta el momento, 14 indicaron no emplear RSO composteados como sustrato de crianza de las lombrices; además, estos comercializan con la lombriz como pie de cría y con el humus líquido y sólido.

2.1.5 Lombrices de tierra

De las más de 4400 especies de lombrices terrestres identificadas, solamente una media docena de ellas puede ser utilizadas en la degradación de residuos orgánicos. Estas lombrices, pertenecientes al orden Haplotaxida y familia Lumbricidae, se agrupan en la categoría ecológica de estrategia reproductiva “r” (rápida y prolífica), lo cual permite que generaciones sucesivas se vayan sustituyendo de manera continua, manteniendo elevadas tasas de consumo de sustrato orgánico. Las especies más efectivas son: *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*, *Lumbricus revellus*, *Eisenia andrei* y *Eisenia foetida* (Saavedra, 2007).

2.1.6 Generalidades de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Savigny, 1826)

Las lombrices están clasificadas en el reino animal como anélidos, de la clase de los oligoquetos, nombre que hace referencia a las diminutas filas de cerdas que recorren la parte ventral y lateral de su cuerpo, las cuales sirven como elemento de agarre durante el desplazamiento (Cuadro 1) (Albornoz y Ortega, 2007).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Eisenia foetida* (Savigny, 1826)
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)

Reino	Animalia	Lineo, 1758
Filo	Annelida	Lamarck, 1809
Clase	Clitellata	Michaelsen, 1919
Subclase	Oligochaeta	Grube, 1850
Orden	Haplotaxida	Brinkhurst, 1971
Familia	Lumbricidae	Claus, 1876
Género	<i>Eisenia</i>	Malm, 1877
Especie	<i>E. foetida</i>	Savigny, 1826

La lombriz roja californiana suele tener en estado adulto una longitud entre 5 y 9 cm con un diámetro entre 3 y 5 mm. Presenta una coloración roja púrpura y puede llegar a pesar entre 1 y 1.2 g. El número de segmentos varía entre 80 y 120 con un promedio de 95. Cuando son adultas presentan un clitelo o abultamiento en forma de silla de montar situado entre los segmentos 24 y 32 (Albornoz y Ortega, 2007).

Las lombrices presentan dos tubos, uno dentro del otro, separados por el celoma, mismo que en coordinación con los músculos circulares y longitudinales permiten el movimiento de la lombriz. Participan también pequeñas estructuras externas presentes en los segmentos que se conocen como setas o quetas que le permiten adherirse o fijarse a la superficie e impulsarse. Las lombrices de tierra respiran por medio de la cutícula, pues no tienen un sistema circulatorio organizado; la sangre circula por vasos capilares que se ubican junto a la cutícula húmeda de la pared del cuerpo, lo que favorece la absorción de oxígeno y la liberación de anhídrido carbónico; por esta razón, la cutícula debe permanecer húmeda (Figura 1) (Martínez, 2014).



Figura 1 *Eisenia foetida* (PROMIR, 2019).

El sistema digestivo es recto y consta de una boca sin dientes seguida de la faringe y el esófago. En este último se encuentran a ambos lados las glándulas calcíferas, las cuales segregan carbonato de calcio, una sustancia capaz de neutralizar los ácidos de los alimentos (Figura 2) (Albornoz y Ortega, 2007).

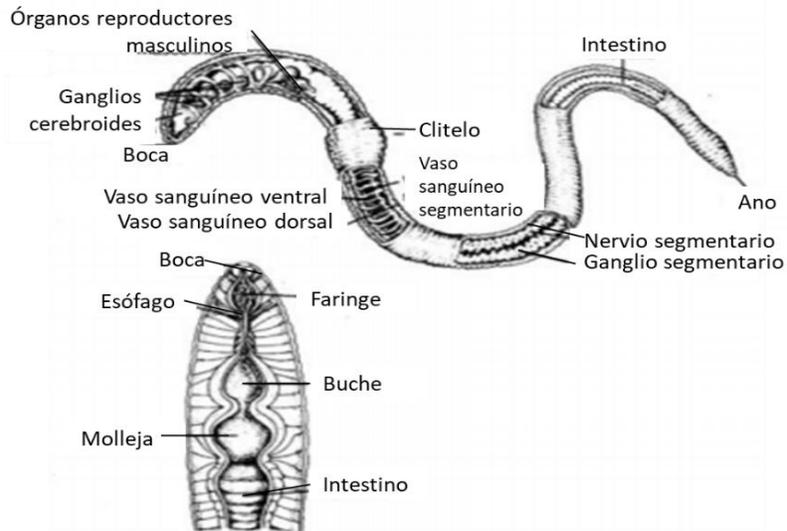


Figura 2 Anatomía de *E. foetida* (imagen modificada de Barbado, 2003).

Las lombrices de tierra son hermafroditas incompletas; por tanto, no pueden llevar a cabo la autofecundación y deben realizar un acoplamiento con otros individuos para reproducirse. Cuando las lombrices adultas cliteladas se acoplan, intercambian espermatozoides que guardan en sus respectivas espermatecas y al separarse los dos individuos, el clitelo de cada uno segrega una sustancia mucilaginosa compuesta de albúmina que lleva los óvulos no fecundados y que se desplaza hacia adelante; durante el trayecto recibe el espermatozoides almacenado en la espermateca y de este modo ocurre la fecundación (semi-externa), cuyas glándulas producen el capullo o cápsula de coloración amarilla y con un tamaño de 3 por 4 mm; estas cápsulas se abren después de 12 a 21 días dependiendo de la temperatura del ambiente en el cual se encuentren los individuos; cada huevo alberga de 2 a 20 lombrices (Arango y Díaz, 2010). Las cópulas ocurren cerca de la superficie del suelo y la puesta comienza en torno a las 48 h de la cópula. La viabilidad de eclosión es del 72 al 82% (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

Los organismos recién eclosionados se distinguen como juveniles, son transparentes o con una densidad de pigmento rojo insuficiente para evitar que el tubo digestivo pueda observarse por transparencia; tienen un tamaño aproximado de 1.5 cm. Los subadultos son aquellos animales cuyo intestino no se aprecia por transparencia y son carentes de clitelo con un tamaño que va de 1.5 a 3 cm. Los adultos son ejemplares con clitelo; la madurez se alcanza entre los 21 y 30 días (Schuldt *et al.*, 2005).

En condiciones óptimas, sus ciclos de vida abarcan de 45 a 51 días. Los ejemplares tienen una esperanza de vida situada en 4.5 a 5 años, aunque la vida media es de un año y 62 días a 28 °C (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

2.1.6 Alimentación de la lombriz de tierra

Eisenia foetida presenta hábitos detritívoros, ya que se alimenta principalmente sobre el mantillo vegetal o sobre estiércol animal en los horizontes superficiales del suelo (Tineo, 1994). Consume desechos orgánicos de origen vegetal y animal que hayan superado su estado de calentamiento y posterior fermentación. Es capaz de ingerir su propio peso en alimento cada 24 h. La lombriz de tierra toma el alimento por contracciones de los músculos en las paredes de la faringe, en las cuales se encuentra una gran cantidad de células glandulares que segregan un mucus que contiene una proteasa (enzima digestiva) que sirve para humedecer los alimentos que son empujados hacia el esófago, donde se encuentran las glándulas calcíferas o de Morren, cuya función es controlar la concentración de ciertos iones en la sangre, principalmente de calcio y carbonatos, que neutralizan los ácidos presentes en la comida ingerida. En el extremo distal del esófago se encuentran unas dilataciones denominadas buche y molleja, el buche funciona como un órgano de almacenamiento temporal, el cual humedece y ablanda previamente el alimento para que pueda entrar a la molleja, que se encuentra detrás del buche; la molleja posee paredes muy duras en las cuales se encuentran cuerpos minerales, y arenas llamadas “dientes de la lombriz” encargadas de desmenuzar las partículas de comida en piezas más pequeñas, preparándolas para los estadios finales de digestión y absorción, procesos llevados a cabo en el intestino donde se secretan enzimas (pepsina, tripsina y amilasa) que ayudan a procesar el alimento. El alimento no digerido sale por el tracto digestivo a través del ano y se llama humus o lombricompost (Campos, *et al.*, 1997).

2.1.7 Justificación de *Eisenia foetida* como modelo para lombricompostaje

Las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) han sido criadas intensivamente a partir de los años 50 en California (EUA), ya que se adapta con facilidad a distintos tipos de

suelos, consume toda clase de materia orgánica en descomposición, trabaja de uno a tres pies de profundidad de los suelos, no emigra y presenta una tasa mayor de reproducción comparada con otras especies de lombrices. Es empleada en más del 80% de los criaderos del mundo, lo que la convierte en la especie más cultivada en el mundo debido a su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales, potencial reproductor y capacidad de apiñamiento (Morales *et al.*, 2009).

2.2. Alimentos

2.2.1 Generalidades de los alimentos

Desde el punto de vista nutricional, un alimento es todo producto que, por sus componentes químicos y sus características organolépticas puede formar parte de una dieta a fin de satisfacer el apetito y aportar nutrientes que resultan necesarios para mantener al organismo en un buen estado de salud. Es decir, un alimento es un producto, natural o transformado, capaz de suministrar al organismo que lo ingiere la energía y las estructuras químicas necesarias para que pueda desarrollar sus procesos biológicos. Existen dos propiedades vinculadas a los alimentos, las propiedades nutricionales: relacionadas con la capacidad que tenga el alimento de contribuir a la dieta alimentaria con las estructuras químicas o nutrientes necesarios para que el organismo desempeñe las actividades fisiológicas y bioquímicas propias de sus procesos vitales; y las propiedades funcionales: aquellas que, al margen del valor nutritivo, presentan los ingredientes o las especies químicas que determinan el comportamiento del sistema alimentario. Dentro de ellas destacan las características: organolépticas (capacidad de hacer apetecible un alimento), tecnológicas (asociados a la fabricación del alimento) y saludables (abordan el punto higiénico-sanitario) (Gutiérrez, 2001).

2.2.2 Componentes nutricionales

Todo alimento puede ser considerado como un sistema alimentario; es decir, un sistema más o menos complejo de naturaleza fisicoquímica, integrado por sustancias químicas que desempeñan funciones concretas y específicas, mediante las cuales contribuyen a las

propiedades de dicho alimento. No obstante, solo cuatro especies químicas van a ser mayoritarias desde el punto de vista de su presencia y concentración en el alimento: agua, vitaminas y minerales, lípidos, proteínas, carbohidratos y fibra (Gutiérrez, 2001).

2.2.2.1 Agua

El agua es la molécula más abundante en los alimentos; es un ingrediente esencial para sustentar la vida y debido a que todos los alimentos provienen de organismos vivos. El agua determina los atributos físicos de los productos cárnicos, vegetales y frutales. Para los polímeros de alimentos, el agua sirve como un componente estructural y un plastificante que contribuye a ciertas propiedades de las proteínas, el almidón y las fibras alimenticias. El agua también sirve como disolvente o medio dispersante en una amplia variedad de alimentos, incluida la leche, los jugos y otras bebidas (deMan *et al.*, 2018).

2.2.2.2 Vitaminas y minerales

Las vitaminas son compuestos que tienen estructuras químicas diferentes entre sí. Se clasifican en liposolubles e hidrosolubles; además, funcionan en concentraciones pequeñas, por lo que se consideran como micronutrientes. Dentro de sus funciones están el actuar en el control de diversas reacciones propias del anabolismo y del catabolismo de hidratos de carbono, de proteínas y de grasas. También pueden facilitar algunos mecanismos fisiológicos: formar parte y actuar en procesos de transferencia de hidrógeno y de electrones, actuar a nivel de membrana celular en funciones de estabilización, acciones de tipo hormonal y actuar como cofactores en procesos enzimáticos, entre otras funciones (Baudi, 2006).

Los minerales, por su parte, son micronutrientes de naturaleza inorgánica indispensables para el buen funcionamiento del organismo. Los minerales están divididos en dos grupos: los componentes principales de la sal (potasio, sodio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, fosfato y bicarbonato) y los elementos traza que son todos los demás presentes en cantidades inferiores a 50 ppm como el hierro, zinc, yodo, entre otros. Presentan funciones reguladoras, como: reguladores en la presión osmótica celular, componentes de las membranas celulares y como activadores de algunas enzimas, entre otras funciones,

además de su propiedad plástica al formar parte de la estructura de muchos tejidos. Son constituyentes de huesos y dientes (calcio, fósforo y magnesio); están involucrados en el mantenimiento del potencial electroquímico de la célula para realizar funciones de transporte, comunicación, entre otros (sodio, cloro) e intracelulares (potasio, magnesio y fósforo) y forman parte de enzimas y otras proteínas que intervienen en el metabolismo, como las necesarias para la producción y utilización de la energía (hierro, zinc, fósforo) (de Man *et al.*, 2018).

2.2.2.3 Lípidos

Los lípidos son un grupo de compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas. Con base en su estructura química es posible clasificarlos en simples, compuestos y asociados. Los lípidos simples (aceites y grasas) son los más abundantes e importantes para los alimentos. Desempeñan muchas funciones. Algunos son parte estructural de las membranas celulares y de los sistemas de transporte de diversos nutrimentos; otros son ácidos grasos indispensables, vitaminas, hormonas y pigmentos, entre otros. También actúan como aislantes naturales en el hombre y en los animales, ya que el tejido adiposo mantiene estable la temperatura del organismo. Sus principales fuentes alimenticias son las semillas oleaginosas y los tejidos animales, terrestres y marinos, y algunas frutas hortalizas como el aguacate, las aceitunas y algunos tipos de nueces (Baudi, 2006).

2.2.2.4 Proteínas

Las proteínas son biopolímeros compuestos por un gran número de aminoácidos (unidades monoméricas). Estos aminoácidos están unidos por enlaces peptídicos formando la cadena polipeptídica (Delfín y Chino, 2013). Las proteínas juegan un papel central en los sistemas biológicos. Abarcan múltiples funciones: estructura, transporte, motilidad, defensa, reconocimiento, almacenamiento y la función catalítica que llevan a cabo las enzimas. Las proteínas en los sistemas poseen propiedades nutricionales y de sus componentes se obtienen moléculas nitrogenadas que permiten conservar la estructura y el crecimiento de quien las consume; asimismo, por sus propiedades funcionales, ayudan a establecer la

estructura y las propiedades finales del alimento. Las proteínas juegan un papel fundamental, siempre y cuando se consuman en los niveles apropiados y se combinen de manera adecuada con otros elementos de la dieta. En la actualidad el reto no es sólo la disponibilidad de proteínas, sino la calidad requerida. Al considerar el papel que las proteínas, como otros nutrientes, desempeñan para mantener en buen estado la salud de cada individuo, no deben dejarse de lado posibles efectos negativos que su consumo representa. Los efectos negativos más importantes se presentan por su papel como alérgenos y como toxinas (Baudi, 2006).

2.2.2.5 Carbohidratos

Los carbohidratos se clasifican en monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, según el número de unidades de azúcares sencillos que contengan. Los carbohidratos también son partes integrales de otras biomoléculas. Un grupo extenso de glucoconjugados (moléculas proteínicas y lipídicas con grupos de carbohidratos ligados de forma covalente) están repartidos entre todas las especies vivientes, de manera más notoria, entre los organismos eucariotas. Determinados carbohidratos (los azúcares ribosa y desoxirribosa) son elementos estructurales de los nucleótidos y de los ácidos nucleicos. Los carbohidratos son las biomoléculas más abundantes de la naturaleza. Son un vínculo directo entre la energía solar y la energía de los enlaces químicos de los seres vivos. La mayoría de los carbohidratos contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, de ahí su nombre. Se han adaptado a una amplia diversidad de funciones biológicas, como fuentes de energía (p. ej., la glucosa), como elementos estructurales (p. ej., la celulosa y la quitina en los vegetales y en los insectos, respectivamente) y como precursores de la producción de otras biomoléculas (p. ej., los aminoácidos, los lípidos, las purinas y las pirimidinas). (McKee y McKee, 2012).

2.2.2.6 Fibra

La fibra dietética se reconoce hoy como un elemento importante para la nutrición sana. Una posible definición sería considerarla como el conjunto de polisacáridos y lignina resistentes a hidrólisis por las enzimas digestivas del ser humano (lipasas, proteasas y amilasas). La fibra juega un papel importante en todas las funciones del sistema digestivo,

desde la masticación hasta la evacuación de las heces. Dentro de sus efectos fisiológicos podemos mencionar que disminuye la velocidad de deglución, lo que implica una mayor salivación que repercute en la mejora de la higiene bucal. A nivel de estómago, las fibras enlentecen el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión prolongando la sensación de saciedad; en el intestino delgado aumenta el espesor de la capa de agua en la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos; asimismo, ayuda a la absorción de determinados minerales, como el calcio, hierro, cobre y zinc (Escudero y González, 2006).

2.2.3 Inocuidad

Una característica importante de los alimentos, además de su contenido nutrimental y sus características organolépticas, es su inocuidad; es decir, que sean carentes de agentes deletéreos o tóxicos, causantes de problemas de salud en quien los consuma. Los agentes dañinos provenientes de los alimentos poseen una variada naturaleza química, pero son causantes de enfermedades, algunas de poca importancia y otras fatales. Están presentes por una contaminación (causa exógena), o bien, forman parte natural del propio alimento (causa endógena) (Gutiérrez, 2001).

De acuerdo con Valle y Lucas (2000), la acción de un agente tóxico sobre un organismo vivo se denomina intoxicación. Es un proceso relativamente complejo en el que se involucran diversos factores que están íntimamente ligados al fenómeno de la intoxicación:

- Dosis. Es la cantidad de sustancia administrada o absorbida por un individuo en proporción a su peso (Repetto *et al.*, 1995), toda sustancia es tóxica dependiendo de la dosis a la cual se ingiera. En ese sentido, un término muy usado en toxicología es el de dosis letal media (LD₅₀), el cual se expresa como la dosis administrada del agente tóxico en términos de mg por kg de peso corporal del organismo de prueba.
- Sistema biológico. Población, organismo, órgano, tejido, célula o constituyente celular sobre el que ejerce su acción un agente físico, químico o biológico (Repetto *et al.*, 1995). La variación de la sensibilidad hacia los agentes tóxicos dependerá del organismo con el cual se haga la interacción. Se pueden presentar diferentes respuestas a un mismo tóxico en distintas especies, lo que se conoce como “variación interespecie”; o bien, es posible que se presente una diferente

sensibilidad dentro de la misma especie, “variación intraespecie”, la cual está generalmente influenciada por la edad y el sexo.

- Vía o ruta de absorción. Medio por el que un tóxico accede a un organismo (Repetto *et al.*, 1995), una sustancia tóxica presenta diferentes efectos dependiendo de la vía de absorción pues para que un agente xenobiótico produzca un efecto tóxico debe llegar a los receptores específicos, atravesando una o varias membranas tisulares.
- Tiempo de interacción del agente tóxico. El efecto de un agente tóxico sobre un sistema biológico se traduce en una alteración del equilibrio fisiológico (homeóstasis). Una intoxicación puede ser clasificada como aguda, crónica o sub-aguda.

2.3. La lombriz de tierra como alimento

2.3.1 Consumo de la lombriz de tierra

La carne de lombriz se puede emplear tanto en la alimentación humana como en la alimentación animal. Se trata de una carne roja que representa una fuente de proteínas de bajo costo (Girón, 2006) y de la que se obtiene harina con un contenido proteico del 60 al 82% con más de 15 aminoácidos, entre los que destacan: fenilalanina, leucina, lisina, isoleucina, metionina y valina (Vielman *et al.*, 2003) y minerales como sodio, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, cobre, litio y fosforo (Vielman *et al.*, 2007).

2.3.2 Aspectos histórico-culturales del consumo de la lombriz de tierra

En China, las personas han empleado la lombriz de tierra como alimento desde hace varios siglos. En la antigüedad, la gente de las provincias chinas de Fujian y Guangdong tenía la costumbre de comer lombrices de tierra. Incluso ahora, en Taiwán y en las provincias de Henan y Guangdong, algunas personas de la región preparan platos especiales con lombriz de tierra como un ingrediente básico de su alimentación. Los registros del antiguo libro chino *Sobre Guo Yi Gong*, indican que las personas que vivían en Fujian consideraban

que las lombrices de tierra eran una delicadeza. Cortaban las lombrices de tierra en trozos pequeños y las mezclaban con relleno de carne para hacer que su comida fuera más sabrosa. Incluso hoy en día, la sopa de lombrices, un manjar tradicional, todavía se ofrece en algunos restaurantes de la provincia de Guangdong. Las lombrices de tierra también han sido consumidas por los amerindios de Ye'kuana del Alto Orinoco de Venezuela. En los últimos años, algunos países de Europa han elaborado varios productos con lombriz de tierra, como los enlatados, lombrices con setas, galletas y pan de lombrices. En California, una compañía compuesta por varias granjas de lombrices de tierra en América del Norte realizó en 1975 una exhibición y competencia sobre alimentos con lombrices de tierra. En algunos países de África y América del Sur, la lombriz de tierra es comúnmente consumida debido a que posee una elevada concentración y calidad (Zhenjun y Hao, 2017).

En la actualidad es posible encontrar diferentes productos elaborados principalmente con harina de lombriz para dietas animales; incluso, existen productos dirigidos al humano como complemento alimenticio de carne para hamburguesas, galletas y en forma de píldoras. En México ha destacado la labor del Instituto Politécnico Nacional, que ha repartido este producto entre transeúntes de la Ciudad de México. La Secretaría de Salud de México ya registra la libre comercialización de la harina de lombriz como suplemento alimenticio y cada vez aumenta el número de personas que palpan los beneficios de este producto 100% natural y sin mezclas de ninguna naturaleza (Candelaria *et al.*, 2012).

Sin embargo, el prejuicio cultural y la falta de información de los beneficios que presenta la lombriz de tierra, ha impedido su empleo oficial en el campo alimenticio humano (Vielma-Rondon *et al.*, 2003).

III. Antecedentes

El uso de la harina de lombriz de tierra ha sido un tema estudiado desde la perspectiva bromatológica. Entre los estudios que destacan por su vinculación al presente trabajo se encuentran:

Zhenjun y colaboradores (1996) analizaron la composición de la harina de lombriz *E. foetida* criada en abono animal y paja de cultivos, reportando porcentajes proteicos en un intervalo de 54.6 al 71%.

Sales (1996) sugirió la relación entre los constituyentes nutricionales de la lombriz y el sustrato en el que se desarrolló la misma. Esta hipótesis fue propuesta a partir de la cría de *E. foetida* en 15 diferentes variedades de sustratos, entre los que se incluyeron basura de mercado, estiércol ovino y vacuno, residuos de yuca, entre otros, encontrando diferencias en sus componentes proteicos: 43.40% (estiércol vacuno y aserrín) fue el porcentaje más bajo, y 64.20% (estiércol ovino y residuo de yuca) el valor más alto.

Meléndez y Morales (1997) evaluaron el comportamiento reproductivo y la cantidad proteica de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*), al ser alimentada con diferentes sustratos provenientes de desechos orgánicos (estiércol bovino, pulpa de café, cáscara de plátano, bagazo de caña y gallinaza), obteniendo porcentajes de contenido proteico entre 62.90 y 76.02% y determinando una diferencia significativa a través del análisis estadístico (C-A 10) con un coeficiente de variación de 3.5.

Vielma y Medina (2006) alimentaron lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) con composta obtenida de desechos orgánicos originados de las actividades de un comedor universitario, reportando 11.6 a 13.5% de humedad, 61.8 a 62.3% de proteína, 7.9 a 11.1% de cenizas, 2 a 3.7% de fibra cruda.

Díaz y colaboradores (2008) realizaron un estudio sobre la dinámica del crecimiento y producción de la lombriz roja californiana (*E. foetida*) en cuatro sustratos a base de estiércol bovino, donde las variables medidas fueron el peso de la biomasa, el número de lombrices totales, las lombrices en cada uno de sus estadios y la composición química de la harina de las lombrices. Al final del ensayo se observaron interacciones significativas sustrato por

variable en todos los indicadores medidos; en relación con la calidad de las harinas no se reportaron diferencias significativas entre sus componentes; todas presentaron niveles proteicos superiores al 50% y considerables niveles de macroelementos.

García y Medina (2013) sugirieron el uso de la harina de lombriz *Eisenia foetida* generada en un esquema productivo de residuos sólidos orgánicos mediante lombricomposta, como un alimento para especies de engorda. La propuesta se basó en el análisis bromatológico de las partes comestibles (pechuga y muslo) de los pollos alimentados con la harina de lombriz, reportando 23.7% de proteínas y 0.34% de grasas, con respecto al grupo testigo que presentó valores de 23.5% de proteína y 0.12% de grasas.

Castro (2014) evaluó la producción y calidad de lombriz de tierra *E. foetida* como fuente de alimento para la chachama negra, la lombriz fue criada en sustrato de gallinaza, vacaza, porquinaza, reportando porcentajes de proteína de 40, 60 y 68 %, respectivamente.

Ordaz-Lugo y colaboradores (2015) realizaron el análisis de los componentes de la harina de lombriz de tierra alimentada a base de estiércol ovino y restos vegetales encontrando 5.3% humedad, 15.2% de cenizas y 44.8% de proteínas.

Suárez-Hernández y colaboradores (2016) estudiaron los componentes nutricionales de la harina de lombriz alimentada con composta, reportando de 6.5 a 14.10% de humedad, de 7.70 a 9.45% de cenizas, de 3.13 a 5.99% de grasa y de 55.24 a 63.50% de proteína.

Lezcano y Borjas (2017) en su estudio sobre optimización en la elaboración de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente proteica en alimento para alevines de tilapia, estudiaron el efecto de la temperatura en la producción de la harina, indicando que a temperatura de 69.2 °C se obtiene el mejor rendimiento (18%) y un contenido de proteínas del 51.22%.

Respecto al análisis toxicológico, es importante mencionar que, al día de hoy, no se encuentran reportes del grado de toxicidad de la harina de lombriz; sin embargo, existen trabajos enfocados al estudio de la harina de lombriz incorporada a las dietas en organismos. Dichos estudios, hasta hoy, no sugieren efectos toxicológicos. Ibáñez y colaboradores (1993) estudiaron en ratas los efectos toxicológicos a largo plazo de la harina de lombriz criada en excremento bovino. Las ratas se alimentaron diariamente con dosis de 100 y 200 g de la harina por cada kilogramo del organismo. El estudio se desarrolló durante 18 semanas, revelando que no se detectó ningún efecto en la salud de las ratas,

no se afectó su reproducción ni su lactancia. Los resultados del análisis de los órganos mostraron pesos normales en el corazón, hígado, pulmón, bazo y glándulas suprarrenales; únicamente las gónadas presentaron un incremento de peso con una diferencia de $P < 0.05$, recomendando incluir la carne de *E. foetida* como una fuente proteica para uso pecuario.

Medina y colaboradores (2003) estudiaron la respuesta inmune humoral y los efectos toxicológicos de harina de *E. foetida* en líneas celulares humanas CEM x 174, reportando que a dosis de 0.75 μg se presentó una viabilidad del 96% mientras que a dosis de 25 μg se presentó el 20% de viabilidad, lo cual concluye que la harina no presenta efectos toxicológicos en bajas concentraciones, por lo que la harina de lombriz podría ser segura para la alimentación de animales que se destinan para el consumo humano.

García y colaboradores (2005) evaluaron la calidad proteica de la harina de lombriz obtenida a partir de residuo porcino biotransformado y bagacillo de caña, y realizaron un estudio histopatológico en cortes de diversos órganos (timo, páncreas, hígado, riñones, entre otros), no hubo anomalías en los tejidos por el consumo de la harina de lombriz afirmando que los animales se encontraron en buen estado de salud al concluir el período experimental.

Ortiz y colaboradores (2010) estudiaron los efectos de incorporar en la dieta de gallinas la lombriz de tierra en estado fresco criada en sustratos de estiércol bovino y reportaron un aumento del 30% en la talla de las partes comestibles de las gallinas.

García y colaboradores, en 2012, evaluaron la harina de lombriz como aditivo en alimentos en hámster, comprobando un aumento en el peso del corazón, riñones, hígado e intestino a dosis de 15.4 y 17.6%. Por otra parte, observaron efectos de intoxicación, reflejados en el aumento de peso, endurecimiento y necrosis en algunos órganos (hígado, riñón e intestino) en ejemplares administrados con 30% de la harina de lombriz adicionada en la dieta, sugiriendo que probablemente se deba a la presencia de aminas biogénicas relacionadas con una dieta elevada en proteínas.

Bahadori y colaboradores (2017) estudiaron el crecimiento, la respuesta inmune y la microbiota intestinal en pollos de engorda alimentados con carne de lombriz adicionada a su dieta en diferentes dosis (10, 20 y 30 g/kg de peso corporal) reportando que el crecimiento de los individuos no se vio afectado por la administración de la carne de

lombriz; sin embargo, los resultados en cuanto a la respuesta inmune a la influenza aviar aumentó (efecto lineal, $P < 0.01$) con la suplementación dietética de la carne de lombriz; la proporción heterófilo/linfocito y el peso relativo del bazo y el timo no difirieron entre los tratamientos; al contrario, se observó un aumento del peso de la bolsa de Fabricius (efecto lineal, $P = 0.04$) para pollos de engorde suplementados con la carne de lombriz en comparación con el control. Finalmente, se observó un decremento de la microbiota patógeno intestinal. No se reportaron decesos o efectos adversos en los organismos en el transcurso del experimento.

IV. Justificación

En la actualidad existe una creciente problemática relacionada con el manejo de los residuos y con la producción de alimentos suficientes para abastecer a una creciente población, evidenciando la necesidad de buscar nuevas fuentes alimenticias nutritivas y sustentables.

Atendiendo a estas necesidades, este trabajo representa un preliminar en el contexto de un proyecto completo que busca proponer a la harina de lombriz como una posible fuente de alimentación, ya que los estudios realizados en torno a los constituyentes nutritivos de su harina, evidencian su potencial como alimento por sus altos contenidos proteicos.

Dado que se ha señalado que la composición del sustrato está íntimamente relacionada con los constituyentes químicos de la lombriz (Sales, 1996), es conveniente que se determinen los componentes nutricionales y se evalúe la toxicidad de la harina cada vez que se pruebe un nuevo sustrato, como lo es la composta obtenida de los desechos orgánicos del comedor y de las actividades de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM.

Asimismo, al día de hoy no se ha aclarado la situación legal en México para llevar a cabo el aprovechamiento y consumo de la harina de lombriz como posible alimento, razón por la cual es necesario estudiar las normativas alimentarias de México, para que, reunidos los elementos nutricionales, de inocuidad y normativos, sea posible fijar un antecedente para los estudios posteriores en torno a la harina de lombriz que permitan sugerir su aprovechamiento como una potencial fuente de alimentación.

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

Incrementar el conocimiento sobre el potencial de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*), criada en un esquema de lombricompostaje de la FESI, como una posible fuente de alimentación.

5.2 Objetivos particulares

- Obtener la harina de lombriz *E. foetida* criada en la composta madura de los residuos orgánicos de jardinería y del comedor de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM.
- Realizar el análisis químico proximal de la harina de lombriz *E. foetida*.
- Determinar la toxicidad aguda de la harina de lombriz *E. foetida*.
- Examinar los diferentes instrumentos normativos que en México regulan la producción de alimentos, en particular los relacionados con la harina de lombriz.

VI. Materiales y métodos

6.1 Modelo experimental, *Eisenia foetida*

La lombriz de tierra roja californiana (*E. foetida*) fue donada por el programa institucional; Programa de Manejo Integral de Residuos de la FESI (PROMIR), el pie de cría de la lombriz tiene un origen silvestre y fue identificada morfológicamente como *Eisenia foetida* por el biólogo Mauricio Huerta.

La crianza de la lombriz fue llevada a cabo por el PROMIR, quienes mantuvieron a los oligoquetos en contenedores de plástico aislados de acuerdo con la técnica adaptada a las condiciones del lugar, descrita por Gómez y colaboradores en el año 2013.

La crianza se desarrolló en contenedores cilíndricos de plástico de coloración azul oscuro con una capacidad de 200 L (Figura 3). Los organismos fueron alimentados con composta madura obtenida a partir de la degradación de los residuos orgánicos originados de las actividades del comedor, los cuales estaban constituidos por desechos de alimentos de origen animal, frutas, verduras, lácteos y otros alimentos procesados comunes en la dieta mexicana. Además, la composta contenía residuos de jardinería de la FESI, principalmente cobertura foliar (Apéndice 1).



Figura 3. Crianza de la lombriz de tierra alimentada con composta madura en contenedores de plástico (PROMIR, 2019).

La elaboración de la harina, la caracterización de sus competentes nutricionales y el análisis toxicológico de la misma se realizó en el Laboratorio de Farmacobiología (L-514). Todas las instalaciones mencionadas se encuentran en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI), UNAM (Figura 4).

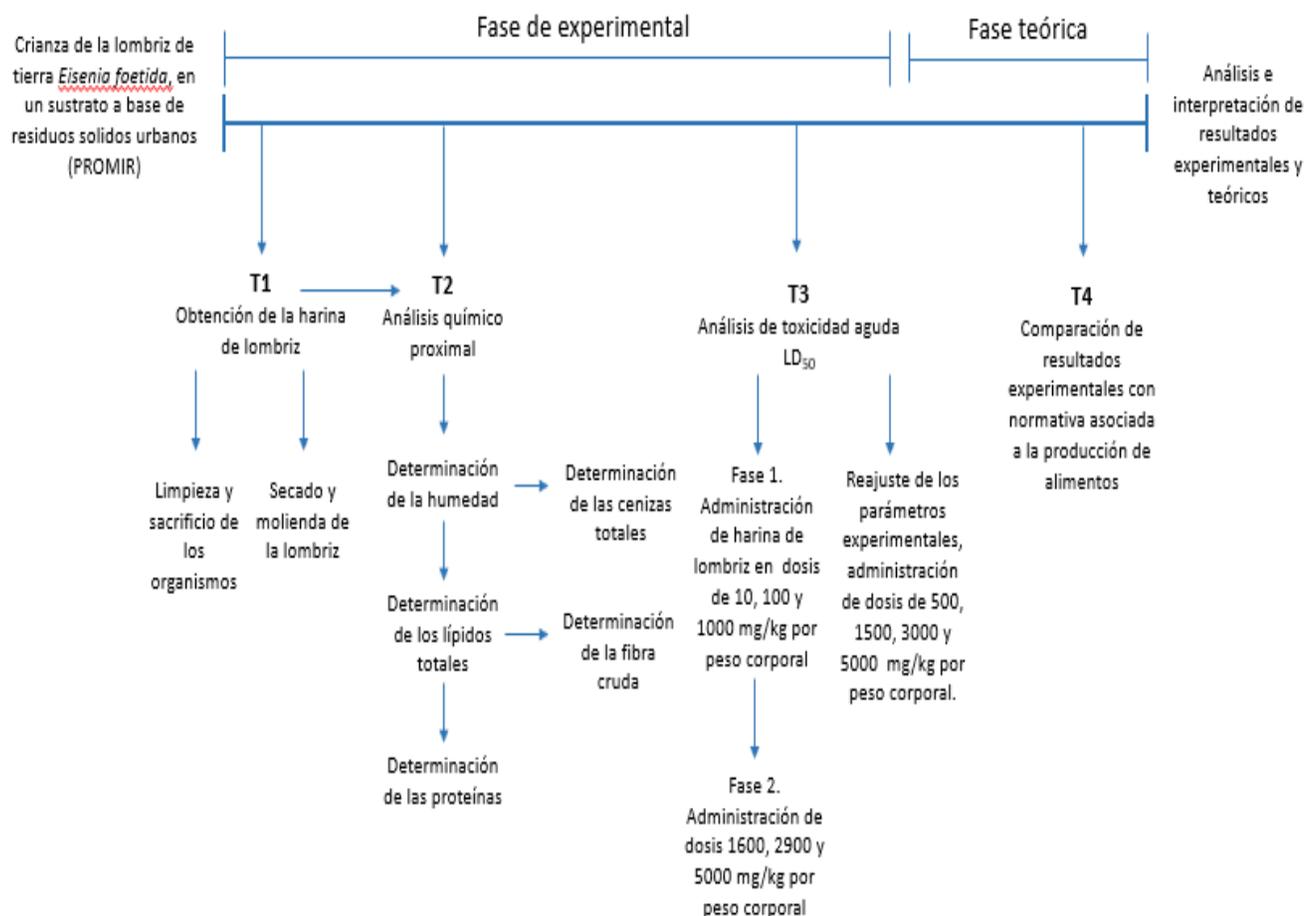


Figura 4. Diagrama procedimental.

6.2 Fase experimental

6.2.1 Obtención de la harina de lombriz

Se recolectó manualmente una muestra de 820.5 g de lombrices del criadero en contenedores de la FESI y se realizó la preparación de la harina conforme al método de Sabac (1987), el cual consistió en efectuar un lavado externo de las lombrices utilizando abundante agua del grifo. Las lombrices se llevaron a un colador para retirar los residuos

de sustrato del lombricompuesto. Posteriormente, los organismos se colocaron en un recipiente de vidrio conteniendo 1 L de solución salina (NaCl) al 4%; se mantuvieron durante 15 min con la finalidad de extraer el bolo alimenticio contenido en el tracto digestivo de las lombrices, y, al mismo tiempo lograr el sacrificio de los organismos. Finalmente, en repetidas ocasiones, las lombrices se lavaron con abundante agua a fin de separar los residuos desprendidos durante el lavado con la solución salina.

Las lombrices sacrificadas fueron secadas con papel absorbente y colocadas en charolas de aluminio manteniéndolas a temperatura ambiente durante 12 h. Posteriormente, se terminaron de secar en una estufa con temperatura controlada de 60 °C (Boulogne, *et al.*, 2007).

Una vez obtenida la materia seca, se desprendió de la superficie de la charola y la muestra se molió en un procesador de alimentos, para obtener un producto harinoso.

Posteriormente, se calculó el porcentaje de humedad del producto harinoso con la finalidad de que en los análisis subsecuentes los cálculos se hicieran en base seca. Para esto se realizó un segundo secado al producto harinoso, empleando el método gravimétrico por desecación AOAC, 952.08 (AOAC, 1990). La prueba fue realizada por triplicado y se hizo el secado de 10 g de muestra a 60 °C durante 12 h hasta obtener un peso constante.

La harina de lombriz se almacenó en frascos de vidrio en condiciones de refrigeración a 4 °C para su posterior análisis.

6.2.3 Análisis químico proximal de la harina de lombriz

La determinación de los distintos componentes nutricionales (cenizas totales, lípidos totales, proteínas, fibra cruda y carbohidratos) de la harina de lombriz se llevó a cabo mediante las técnicas propuestas por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC por sus siglas en inglés) modificadas de acuerdo con González y Peñalosa (2000), estas metodologías son, a su vez, sugeridas por las diferentes normas mexicanas (NMX): NMX-F-066-S-1978 (DOF, 1978a) (cenizas totales), NMX-F-089-S-1978 (DOF, 1978b) (lípidos totales), NMX-F-068-S-1980 (DOF, 1980) (proteínas), NMX-F-090-S-1978 (DOF, 1979) (fibra cruda).

6.2.3.1 Cenizas totales

El contenido de cenizas de la harina se determinó por el método de cenizas totales. Se colocó 1 g de la muestra seca en crisoles puestos a peso constante. Posteriormente, la muestra se carbonizó y finalmente se calcinó en mufla a 600 °C por 3 h (AOAC, 923.03) (AOAC, 1990). El contenido de cenizas de la muestra se calculó por la diferencia de peso y se expresó como porcentaje de cenizas totales (Apéndice 3).

6.2.3.2 Lípidos

Los lípidos totales se determinaron de acuerdo con el método de Soxhlet. Se colocaron 3 g de la muestra seca dentro de un cartucho para extracción Soxhlet. Montado el equipo Soxhlet se empleó hexano como disolvente. Terminada la extracción de lípidos se secó el cartucho con la finalidad de eliminar el disolvente restante y se determinó el peso del cartucho seco con muestra desengrasada hasta obtener un peso constante (AOAC, 996.06) (AOAC, 1990). El contenido de lípidos totales se calculó por diferencia de peso de la muestra (g) y se expresó en porcentaje de lípidos totales (Apéndice 4).

6.2.3.3 Proteínas

La determinación de proteínas de la harina de lombriz se realizó por triplicado mediante el método de micro Kjeldhal, usando caseína como control. Se sometieron a digestión 0.025 g de muestra seca y desengrasada, adicionando 1 g de la mezcla catalizadora. Posteriormente en un matraz Erlenmeyer se colocaron 8 mL de solución de ácido bórico al 4% con tres gotas de solución indicadora, en este matraz se recuperó el destilado. Para la destilación, al digerido se le añadieron 8 mL de solución de NaOH al 40% con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, se destiló hasta obtener 50 mL. Finalmente se realizó la titulación con solución valorada de HCl 0.02 N (AOAC 2001.11). Los cálculos fueron realizados de acuerdo con la técnica (Apéndice 5).

6.2.3.4 Fibra cruda

Para determinar el contenido de fibra cruda de la harina se empleó el método de Kennedy modificado a condiciones de laboratorio. Una muestra de la harina seca y desengrasada fue sometida a hidrólisis ácida con H_2SO_4 0.255 N a temperatura de ebullición y posteriormente se sometió a hidrólisis alcalina con NaOH al 0.81 N. La solución se filtró al vacío y se sometió a lavados con H_2SO_4 0.255 N, alcohol y éter. El material se secó y se calculó el contenido de fibra cruda (Apéndice 6).

6.2.3.5 Carbohidratos

La cuantificación de este grupo nutricional se calculó por diferencia (composición centesimal), los carbohidratos se determinan restando al 100% la suma de los porcentajes de cenizas totales, lípidos totales, proteína y fibra cruda.

6.2.4 Toxicidad aguda (LD_{50}) de la harina de lombriz

Se determinó la dosis letal media (LD_{50}) de la harina de lombriz por el método de Lorke (1981) en ratones machos ICR (CD-1) de tres semanas de nacidos; los ratones fueron criados en el bioterio de la FES Iztacala UNAM.

La prueba se desarrolló en dos etapas, el modelo de estudio fue ratones machos juveniles de la cepa CD-1 con un rango de peso de 26 a 29 g, la cepa CD1 es una cepa de ratones extensamente utilizada en estudios toxicológicos y farmacológicos, ya que se trata de una cepa no consanguínea y con alta variabilidad genética, razón por la que resulta un mejor modelo para extrapolar los resultados a una interacción humana (Chia, *et al.*, 2005). Los ratones se mantuvieron en cajas de plástico de 9 x 17 x 7 cm en condiciones controladas con ciclos luz oscuridad de 12 h y a una temperatura estable de 22 °C; fueron alimentados *ad libitum* con pellets Pet Foods y agua potable durante todo el desarrollo del experimento.

Durante la primera etapa se determinó el peso de los organismos y se seleccionaron aleatoriamente grupos independientes de tres individuos por dosis, las dosis fueron: 10,

100 y 1000 mg/kg de harina de lombriz suspendida en goma arábica al 4%, con un grupo control al cual únicamente se le administró la goma arábica al 4%.

La administración de la harina de lombriz se realizó de forma intragástrica, empleando una cánula. Una vez administrada la dosis de harina de lombriz los organismos fueron monitoreados durante cinco días.

Durante la segunda etapa del experimento, se determinó el peso de los organismos y se administraron nuevas dosis a grupos independientes de dos individuos. El procedimiento de administración se realizó siguiendo el mismo protocolo usado durante la primera fase. Las dosis se determinaron con base en los resultados obtenidos en la primera etapa; al no haber presentado decesos durante la primera etapa, se administraron las dosis más altas de acuerdo con la técnica, las cuales fueron: 1600, 2900 y 5000 mg/kg.

Se procedió a una segunda prueba independiente, realizando un reajuste de parámetros experimentales con base en los resultados obtenidos de la primera prueba LD₅₀, en la que se administraron vía intragástrica dosis de 500, 1500, 3000 y 5000 mg/kg de la harina de lombriz a grupos de cinco ratones por dosis administrada.

Los valores de LD₅₀ superiores a 5000 mg / kg no son de interés práctico.

6.3 Fase teórica

6.3.1 Análisis normativo en materia alimentaria

Se examinaron los instrumentos jurídicos que tienen por objeto la regulación, el control y el fomento sanitario del proceso, así como de las actividades, servicios y establecimientos relacionados con los productos alimenticios. Únicamente se consideraron las leyes más vinculadas a la propuesta de este trabajo, por lo que normatividad relacionada con el etiquetado, embalaje y otros aspectos posteriores a la producción de un alimento no son mencionados.

Los documentos revisados incluyeron la Carta Magna y tratados internacionales: Codex Alimentarius y normativa que de éste emanan, continuando con los instrumentos jurídicos de orden federal y sus reglamentos, normas oficiales mexicanas y otros ordenamientos que de ellos se derivan. Todas las leyes que se presentan fueron comparadas con el catálogo

de normas de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), órgano federal que tiene por objetivo la regulación sanitaria de diferentes productos dentro de los que se encuentran los alimentos.

VII. Resultados

Los resultados obtenidos de las pruebas toxicológicas y del análisis químico proximal de la harina de lombriz criada en un modelo de lombricompostaje; así como los de diferentes instrumentos jurídicos vinculados con el aprovechamiento de la lombriz en materia alimentaria se presentan a continuación.

7.1 Análisis químico proximal de la harina de lombriz

Los 820.5 g de lombrices colectadas de la composta de RSU de la FESI UNAM redujeron su peso en 25.77% equivalente a 609 g después de ser sometidas al lavado interno con solución salina. El producto harinoso presentó un peso de 138 g equivalente a un rendimiento del 16.81%.

En el Cuadro 2 se muestra la composición porcentual base seca de los componentes nutricionales obtenida en el presente estudio de la harina de lombriz criada en un modelo de lombricompostaje.

Cuadro 2. Componentes nutricionales de harina de *Eisenia foetida*

Parámetro	Contenido (%)
Cenizas totales	10.41
Lípidos totales	13.16
Proteínas	64.29
Fibra cruda	1.77
Carbohidratos	10.47

7.2 Determinación de toxicidad aguda LD₅₀

La harina de lombriz criada en el modelo de lombricompostaje no resultó tóxica con dosis de <5000 mg/kg y un periodo de observación de 14 días, puesto que en ninguna de las dosis administradas (10, 100, 1000, 1600, 2900 y 5000 mg/kg) hubo deceso de animales, presentando un porcentaje de supervivencia del 100%. El peso de los organismos por día

se observa en la Figura 5, donde el inicio corresponde al día previo a la administración de la harina de lombriz.

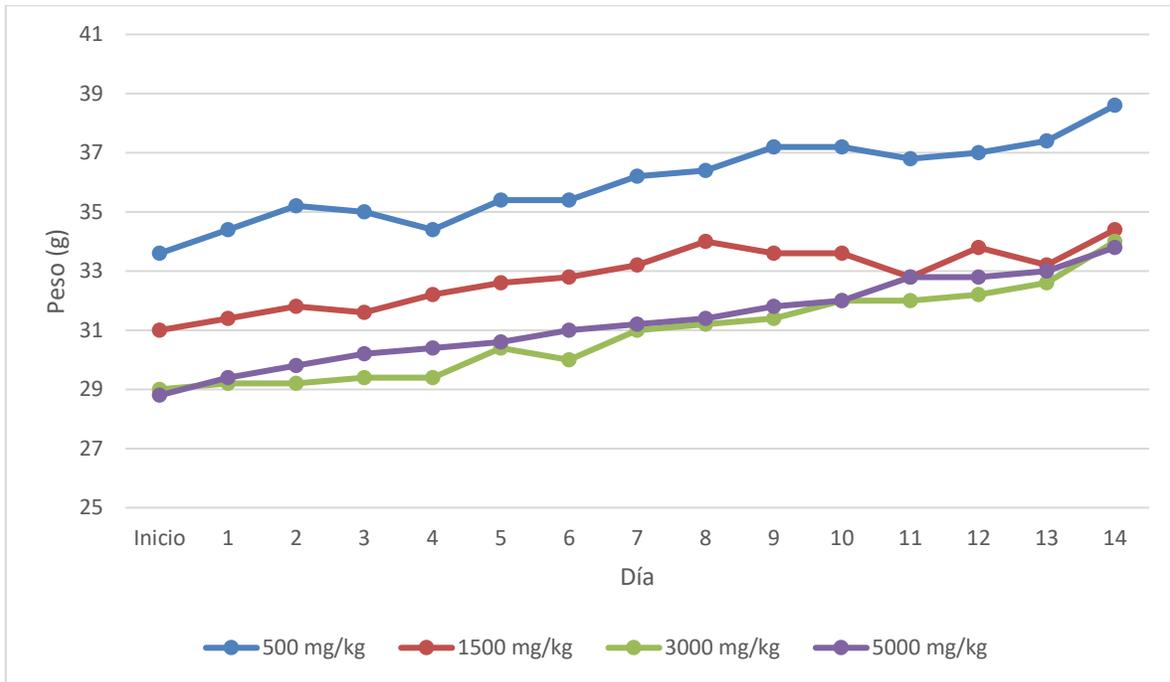


Figura 5 Peso corporal de los ratones ICR (CD1) por día, después de una administración de diferentes dosis de harina de *Eisenia foetida*.

7.3 Revisión normativa en materia alimentaria

A continuación, se presentan las leyes que norman los requerimientos sanitarios de los alimentos y de su producción; Cuadro 3 (las leyes federales), Cuadro 4 (los reglamentos que emanan de las leyes federales) y Cuadro 5 (las normas oficiales mexicanas).

Cuadro 3. Leyes del orden federal en materia de alimentos

Norma	Disposición que regula	Artículo	Descripción
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (DOF, 2011)	Rige jurídicamente a la Nación, fija límites y define las relaciones entre los poderes federativos y los órdenes de gobierno. Establece los derechos y los deberes del pueblo.	4	Derecho a la salud, derecho a la alimentación.
Ley General de Salud (DOF, 2018b)	Reglamenta el derecho a la protección de la salud que tiene toda persona en los términos del Artículo 4 de la CPEUM.	115	Facultad de la Secretaría de Salud en materia alimentaria.
		199	Los gobiernos estatales ejercerán la verificación y control sanitario que expendan o suministren alimentos.
		215	Definición de alimento, materia prima, aditivo y suplemento alimenticio.
		216	La Secretaría de Salud determinará los productos con propiedades nutritivas particulares.
Ley Federal de Sanidad Animal (DOF, 2018c)	Procura el bienestar animal, regula las buenas prácticas pecuarias en la producción primaria y procesamiento de bienes de origen animal.	3	La Secretaría de Salud será la autoridad responsable de la vigilancia del cumplimiento de la ley.
		4	Definición de animal vivo, bienestar animal, entre otros.

Cuadro 4. Reglamentos de las leyes federales en materia de alimentos

Reglamento	Disposición que regula	Artículo	Descripción
Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (DOF, 2014)	Reglamento que emana de la Ley General de Salud. Define, regula y especifica las medidas sanitarias relacionadas con la producción, etiquetado, transporte y venta de los productos alimenticios, medicamentos y cosméticos.	1	Precisa los productos que regula el reglamento.
		11	Los productos no deberán generar riesgos o daños a la salud, la Secretaría de Salud será la autoridad competente al tema.
		12	La Secretaría de Salud definirá un producto como alimento, suplemento alimenticio, producto biotecnológico o cualquier otra clasificación.
		15	Las normas establecerán las especificaciones microbiológicas, toxicológicas o de riesgos a la salud, así como las técnicas sanitarias de producción para asegurar dichas especificaciones y los métodos de análisis.
		17	Sobre la inocuidad de equipos y materiales en la producción.
		29- 39	Sobre los requerimientos sanitarios de los establecimientos de producción y venta.
		168-174	Definición y normativas asociadas a suplementos alimenticios.
		XVII	Artículo transitorio sobre especificaciones de los suplementos alimenticios.
Reglamento de la Ley Federal de Sanidad Animal (DOF, 2012)	Reglamento que emana de la Ley Federal de Sanidad Animal, regula lo relacionado al bienestar animal y las especificaciones sanitarias de bienes de origen animal.	5	Sobre las medidas en materia de buenas prácticas pecuarias: instalaciones, equipos, manejo de animales.
		24	Sobre el monitoreo de residuos tóxicos en los bienes de origen animal.
		29- 32	Bienestar animal: alimentación, cuidado, alojamiento y sacrificio.
		151	Los alimentos para consumo animal, los suplementos alimenticios y otros productos de consumo animal estarán sujetos a autorización ante la Secretaría de Salud.
		162	Los alimentos de consumo animal deben provenir de establecimientos autorizados.
		195- 213	Sobre los establecimientos de producción de bienes animales.

Cuadro 5. Normas oficiales mexicanas en materia de alimentos

NOM*	Año de emisión	Descripción
NOM-012-ZOO-1993 (DOF, 1993)	1995	Establece las especificaciones para la producción, almacenamiento, distribución, comercialización, control de calidad y constatación de los productos para uso o consumo animal.
NOM-025-ZOO-1995 (DOF, 1993)	1995	Establece las características mínimas zoonosológicas para las instalaciones y equipo de los establecimientos que fabriquen productos alimenticios de uso animal.
NOM-061-ZOO-1999 (DOF, 2000a)	2000	Establece los requisitos y especificaciones zoonosológicas que deben cumplir los productos alimenticios de consumo animal.
NOM-092-SSA1-1994 (DOF, 1995b)	1994	Establece un método para estimar la cantidad de microorganismos presentes en un alimento, por la cuenta de colonias en un medio sólido, incubado aeróbicamente.
NOM-109-SSA1-1994 (DOF, 1995c)	1994	Establece los procedimientos para la toma, el manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
NOM-110-SSA1-1994 (DOF, 1995d)	1994	Establece el procedimiento para la preparación de diluciones para el análisis microbiológico de productos alimenticios.
NOM-111-SSA1-1994 (DOF, 1995e)	1994	Establece el método para determinar el número de mohos y levaduras viables en productos de consumo humano por medio de la cuenta en placa.
NOM-112-SSA1-1994 (DOF, 1994)	1994	Establece el método para estimar el número de coliformes presentes en productos alimenticios, por medio del cálculo del número más probable.
NOM-113-SSA1-1994 (DOF, 1995)	1994	Establece el método microbiológico para determinar el número de microorganismos coliformes totales presentes en productos alimenticios por medio de la técnica de cuenta en placa.
NOM-114-SSA1-1994 (DOF, 1995g)	1994	Establece un método general para la determinación de <i>Salmonella</i> spp. en alimentos.
NOM-115-SSA1-1994 (DOF, 1995h)	1994	Establece el método microbiológico para determinar la cuenta de <i>Staphylococcus aureus</i> presente en alimentos nacionales o de importación.
NOM-116-SSA1-1994 (DOF, 1995i)	1994	Establece el procedimiento para determinar la humedad por tratamiento térmico con el método por arena o gasa y es aplicable a alimentos en general.
NOM-117-SSA1-1994 (DOF, 1995j)	1994	Establece los métodos de prueba de espectrometría de absorción atómica para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio presentes en alimentos y bebidas.
NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000b)	1994	Establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.
NOM-143-SSA1-1995 (DOF, 1997)	1995	Establece el método microbiológico para determinar la presencia de <i>Listeria monocytogenes</i> en alimentos.
NOM-247-SSA1-2008 (DOF, 2009)	2008	Establece las disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir el proceso de las harinas de cereales, sémolas o semolinas, alimentos preparados a base de cereales, de semillas comestibles, de harinas, de sémolas o semolinas o sus mezclas y los productos de panificación.

Continuación **Cuadro 5**

NOM-251-SSA1-2009 (DOF, 2010)	2007	Establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene que deben observarse en el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios y sus materias primas a fin de evitar su contaminación a lo largo de su proceso.
NOM-033-SAGZOO-2014 (DOF, 2015)	2015	Establece los métodos de sacrificio a animales para garantizar buenos niveles de bienestar y disminuir el sufrimiento.

*La primera columna hace referencia al nombre de la norma: tipo de norma NOM, código de la norma -000-, la secretaría que la regula (ZOO = SAGARPA, SSA1 = Secretaría de Salud) y año de expedición -0000-

De acuerdo con la actual categorización alimentaria expuesta en el Artículo primero del Reglamento de Control Sanitario de Bienes y Servicios, la harina de lombriz puede ser definida y categorizada como un suplemento alimenticio, al no coincidir en una mejor definición. En la NOM-251-SSA1-2009 (DOF, 2010) se establecen los requerimientos mínimos de buenas prácticas de higiene para dichos alimentos, en donde se especifican cuestiones relacionadas con el establecimiento y personal vinculados a la producción y venta de los alimentos; sin embargo, en dicha norma no se definen los límites sanitarios permisibles de los suplementos alimenticios, razón por la que, para efectos de regular las cuestiones sanitarias de la harina de lombriz, se tomaron los requerimientos presentes en la NOM-247-SSA1-2008, la cual tiene como objetivo regular los cereales y sus productos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Límites máximos de agentes deletéreos permisibles para las sémolas (NOM-247-SSA1-2008) (DOF, 2009)

Determinación	Límite máximo permisible
Humedad	15%
Materia extraña	No más de 50 fragmentos de insectos, no más de un pelo de roedor y estar exentos de excretas, en 50 g de producto.
Mesófilos aerobios	50,000 UFC/g
Coliformes totales	No Aplica
Hongos	300 UFC/g
Aflatoxinas	20 µg/kg
Plomo (Pb)	0.5 mg/kg
Cadmio (Cd)	0.1 mg/kg

De acuerdo con el Artículo constitucional 133, los tratados internacionales presentan carácter jurídico jerárquicamente equiparable con las leyes del orden federal. Dentro de dichos tratados, uno que presenta mayor importancia en el ámbito alimentario, específicamente en lo relativo a la producción e inocuidad de los productos alimenticios, es el Codex Alimentarius, ley marco y principal referencia mundial en materia de alimentos establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En la Cuadro 7 se muestran los principios y directrices del Codex Alimentarius con aplicación al presente trabajo.

Cuadro 7. Principios y directrices del Codex Alimentarius

Norma	Nombre	Descripción
CAC/RCP 1-1969	Principios generales de higiene de los alimentos.	Establece los principios esenciales de higiene de los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria a fin de otorgar el objetivo de que los alimentos sean inocuos.
CAC/GL 21-1997	Principios y directrices para el establecimiento y la aplicación de criterios microbiológicos relativos a los alimentos.	Establece el marco de referencia acerca del establecimiento y aplicación de los criterios microbiológicos relativos a la inocuidad de los alimentos y otros aspectos de higiene de estos.
CXC 75-2015	Código de prácticas de higiene para alimentos con bajo contenido de humedad.	Establece las buenas prácticas de higiene de fabricación para controlar los peligros microbianos asociados a la elaboración de alimentos con bajo contenido de humedad, en especial a la reducción de <i>Salmonella</i> spp.
CAC/RCP 54-2004	Código de prácticas sobre buena alimentación animal.	Establece un sistema de inocuidad para los piensos de animales destinados al consumo humano, teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la sanidad animal y el medio ambiente.
CAC/GL 1-1979	Directrices generales sobre declaraciones de propiedades.	Señala la aplicación en las declaraciones de propiedades que se hacen en relación con un alimento.
CAC/GL 2-1985	Directrices sobre etiquetado nutricional.	Vela porque el etiquetado nutricional facilite al consumidor datos sobre los alimentos y su contenido nutricional.
CXS 193-1995	Principios generales sobre contaminantes y toxinas en alimentos y piensos.	Contiene los principios generales para el tratamiento de contaminantes y toxinas en alimentos y piensos, y enumera los niveles máximos de contaminantes y tóxicos en alimentos.
CAC/GL 44-2003	Principios para el análisis de riesgos de alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos.	Establece el marco para la realización de análisis de riesgos en relación con aspectos nutricionales y de inocuidad de los alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos.
CAC/GL62-2007	Principios prácticos sobre el análisis de riesgos para la inocuidad de los alimentos aplicables por los gobiernos.	Provee orientaciones a los gobiernos nacionales para la evaluación de riesgos, la gestión de riesgos para la salud humana relacionada a los alimentos.
CXS 234-1999	Métodos recomendados de análisis y muestreo.	Establece los métodos de análisis recomendados para diferentes tipos de alimentos.

La norma CXS 193-1995 del Codex Alimentarius contiene los principios recomendados en relación con los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos; se indican también los niveles máximos y planes de muestreo relacionados con los agentes deletéreos; por recomendación de la Comisión del Codex Alimentarius (CAC) deben aplicarse a los productos que circulan en el comercio internacional. En el Cuadro 8 se muestran los agentes tóxicos y sus límites máximos permisibles aplicables a la harina de lombriz.

Cuadro 8. Límites máximos permisibles de agentes deletéreos en alimentos (CXS 193-1995)

Agente tóxico	Límite máximo permisible (µg/kg)
Acrilonitrilo	0.02
Deoxinivalenol (micotoxina)	1,000
Estaño	50
Melamina	2.5
Monómero de cloruro de vinilo	0.01
Ocratoxina A (micotoxina)	5
Plomo	0.1

VIII. Análisis y discusión de resultados

Teniendo como punto de partida el derecho fundamental a la alimentación, expresado en el Artículo cuarto constitucional y reforzado en el Artículo cuarto de la Convención Interamericana sobre Obligaciones Alimentarias, es evidente la importancia de una alimentación nutritiva y de calidad. En la búsqueda de nuevas fuentes alimenticias que cumplan con dichas características, en este estudio se analizaron los componentes de la harina de lombriz generada en un esquema de lombricompostaje.

El contenido de cenizas totales en la harina de lombriz fue del 10.41%, valor que se encuentra dentro del intervalo reportado por Vielma y Medina (2006) y Ordaz-Lugo y colaboradores (2015) que va de 7.9% al 15.2%, respectivamente. La determinación y el análisis de las cenizas en un alimento adquiere importancia ya que se componen de materia inorgánica, esencialmente minerales (Schingoethe y García, 2004). Aun cuando en este estudio las cenizas no se analizaron, se ha reportado que entre los minerales presentes en la harina de *E. foetida* se encuentran sodio, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, cobre y litio (Vielma *et al.*, 2007), los cuales son micronutrientes indispensables para el funcionamiento óptimo del organismo (Crews, 1998).

El valor de grasa encontrado, 13.16%, es mayor a los reportados en otros estudios, 5.99% (Suarez-Hernández *et al.*, 2016) y 0.34% (García y Medina, 2013). Por otra parte, el contenido de lípidos en *E. foetida* podría estar conformado por distintos ácidos grasos esenciales para el ser humano, de los cuales se ha reportado la presencia de ácido undecílico, pentadecílico, undecenoico, palmitoleico, ecosatrienoico, araquidónico, láurico, tridecílico, palmítico, esteárico, oleico, eicosenoico y linoleico (Vielman *et al.* 2003).

En lo que respecta al contenido proteico, calculado en 71.6%, se observó que el valor corresponde a los porcentajes reportados en otros trabajos, que van desde el 23.7% (García y Medina, 2013) hasta el 76.02% (Méndez *et al.*, 1997). Vielma y colaboradores en 2003 señalaron una riqueza en aminoácidos esenciales (ácido aspártico, glutámico, serina, glicina, treonina, histidina, alanina, tirosina, fenilalanina, isoleucina, leucina y lisina) contenido en la proteína de la harina de *E. foetida*.

En cuanto al porcentaje de fibra cruda de la harina de lombriz 1.77%, éste se encuentra dentro del intervalo de los porcentajes reportados en otros estudios que va de 0.98%

(Sales, 1996) hasta un 8.4% (Sabac, 1987). La fibra en alimentos de origen animal está constituida principalmente de quitina, quitosán, colágeno y condroitina y su importancia radica en que aumenta la movilidad intestinal y previene trastornos digestivos (Escudero y González, 2006).

Finalmente, el contenido de carbohidratos en la harina de lombriz criada en un modelo de lombricompostaje fue de 4.82%, Vielma y Medina (2006) reportan un porcentaje de 3.7%, mientras que Lezcano y Borjas (2017) indican un valor de 9.15%. En la actualidad existe poca información acerca de la caracterización de los carbohidratos presentes en *E. foetida*, Anitha y Jayraaj (2012), sugieren que la mitad del porcentaje reportado de carbohidratos en *Eudrillus euginae* (4.34%) corresponde a glucosa.

Los intervalos que se observan en el contenido de grasa, proteína y fibra cruda en los diferentes estudios con la harina de *E. foetida*, pueden explicarse en términos de los diferentes sustratos donde se desarrolla la lombriz, tal como sugiere Sales (1996), García y Medina (2012) y Durán y Henríquez (2009) al señalar que la composición del sustrato está íntimamente relacionada con los constituyentes químicos de la lombriz, si bien aún no se ha precisado la forma en la que el sustrato puede afectar a la composición de la lombriz, una posible explicación puede estar vinculada a la sensibilidad que tiene la lombriz de tierra a los diferentes contaminantes del medio, debido principalmente a la permeabilidad de su cutícula (Li *et al.*, 2019) una vez que el contaminante interacciona con la lombriz, el organismo comienza un proceso de desintoxicación, lo cual representa un gasto energético de glucosa, lípidos y proteínas (Liu *et al.*, 2018).

Al comparar el contenido de los componentes nutrimentales de la harina de lombriz con los reportados para alimentos cárnicos convencionales (Cuadro 9) (Valero *et al.*, 2010), se puede observar un porcentaje ligeramente mayor en proteínas, mientras que el porcentaje de lípidos es menor con respecto a los alimentos cárnicos convencionales.

Cuadro 9. Componentes nutrimentales de la carne de *Eisenia foetida* y alimentos cárnicos convencionales expresados en base húmeda

Componentes (%)	Carne lombriz	Carne de res	Carne de cerdo	Carne de pollo
Humedad	82.13	71.3	62.25	75
Cenizas	1.85	1.0	1.0	1.2
Lípidos Totales	2.35	21.5	19.75	22.8
Proteína	11.48	5.9	11.75	0.9
Carbohidratos	1.86	0.5	0.8	0.2

Asimismo, al comparar el contenido proteico de la harina de lombriz generada en un esquema de lombricomposta, con los de otros organismos invertebrados de interés alimentario, como los insectos; la harina de lombriz presenta los mayores porcentajes proteicos, superada únicamente por el contenido proteico del chapulín de milpa (*Sphenarium histrio*) y el chapulín mexicano (*Melanoplus mexicanus*), cuyos porcentajes de proteínas fueron de 74.78 y 77.13, respectivamente (Ramos *et al.*, 1998).

Una característica importante de los alimentos, además de las propiedades nutricionales de la harina de lombriz, es su inocuidad. Esta cualidad es considerada en el Artículo 11 del Reglamento de Control Sanitario de Bienes y Servicios; “los productos y sustancias (alimentos) no deberán generar riesgos o daños a la salud ...”. En el estudio de toxicidad aguda, que se hizo en este trabajo de tesis a la harina de lombriz generada en un esquema de lombricompostaje, no se presentó mortalidad en ninguna de las dosis administradas a los ratones, por lo que la harina de lombriz no resultó tóxica con el método empleado.

Respecto a los efectos de la harina de lombriz en el peso de los organismos durante el estudio de LD₅₀ tras haber realizado una única administración en dosis de 500, 1500, 3000 y 5000 mg/kg se puede observar un aumento de peso en todas las dosis; debe señalarse que la diferencia de los ratones entre las distintas dosis administradas se debe a la disimilitud de los pesos de los individuos separados en dos camadas al principio del experimento. En la Figura 6 se puede observar una ligera tendencia en el aumento de peso en los ratones en todas las dosis administradas.

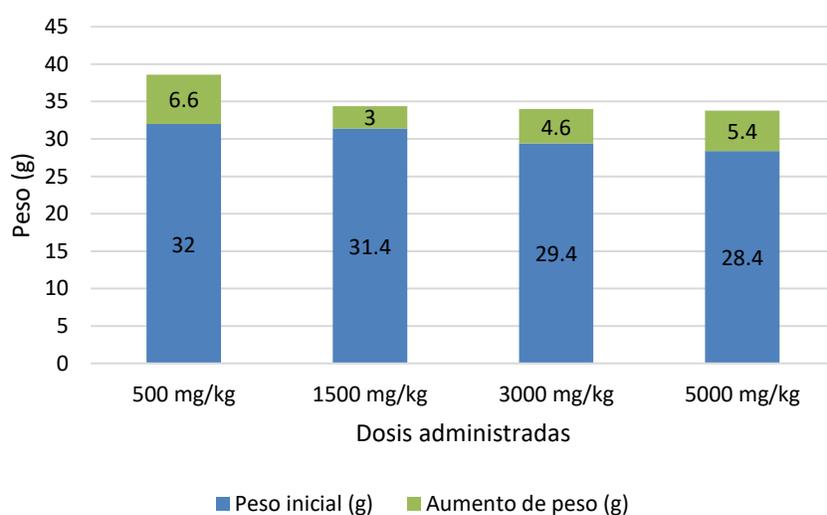


Figura 6 Aumento de peso corporal en ratones después de una administración única de diferentes dosis de harina de lombriz.

Por otro lado, al comparar la media del aumento de peso en los ratones por semana con la curva de crecimiento de la cepa ICR (CD1) que se describe en el portal de Envigo (criador y proveedor de la cepa de ratones ICR (CD1) empleados en el presente proyecto) se puede observar que los incrementos en peso de todos los ratones, después de la administración aguda de la harina de lombriz, se encuentran entre el intervalo de pesos reportado por Envigo que va desde los 20 a los 40 g para una edad de 4 semanas, lo cual sugiere que no hubo efecto de intoxicación aguda en los tratamientos administrados con harina de lombriz, ya que la tasa metabólica expresada en el incremento de peso está en el rango normal.

Los resultados indican que la harina de lombriz no es tóxica en administraciones agudas, esto podría estar vinculado a la aparente inocuidad que caracteriza a la lombriz de tierra, debido a la presencia de proteasas y endoproteasas que participan en la desintoxicación y son parte del sistema de defensa de la lombriz (Wang *et al.*, 2017).

Hasta el momento no se han encontrado trabajos en los que se haya evaluado la toxicidad aguda (LD₅₀) de la harina de lombriz con el método descrito en el presente trabajo. En el estudio histopatológico de García y colaboradores (2005) no se detectaron anomalías en los tejidos analizados (timo, páncreas, hígado, riñones, entre otros) y la ganancia de peso fue superior en las ratas que se alimentaron con harina de lombriz durante los cinco días del experimento. Asimismo, Ibáñez y colaboradores (1993) no encontraron diferencias en el peso y la morfología del hígado, riñón, gónadas, corazón, pulmón, tiroides, suprarrenales, intestino y musculo en las cuatro generaciones de ratas alimentadas durante 18 semanas con una dieta que tuvo como fuente de proteína carne *E. foetida*. Además, a lo largo del tiempo, tanto ratas adultas como crías presentaron un incremento de peso similar a las de los grupos control (dieta enriquecida con caseína como fuente de proteína). Asimismo, no se registraron efectos tóxicos derivados de las proteínas de *Eisenia foetida* al administrar un 30% de la proteína total en la comida de los conejos (Hrzenjak, 1992). En otro estudio, Medina y colaboradores (2003) reportaron que en bajas concentraciones las proteínas de *Eisenia foetida* no fueron tóxicas para una línea celular humana. Con base en sus resultados de toxicidad, composición de proteínas (perfil electroforético), grasa y metales pesados de la harina de lombriz y la respuesta inmune en ratones, los autores sugirieron que las proteínas de la lombriz de tierra podrían ser útiles para fortalecer la dieta humana en áreas de recursos pobres y en países en desarrollo y precisaron que la utilización de esta harina podría realizarse con el objetivo de aumentar el porcentaje de

proteínas en los alimentos para la recuperación nutricional o para prevenir enfermedades nutricionales que afectan a la población mundial. Sin embargo, hasta el momento de la revisión, únicamente el estudio de García y colaboradores (2012) encontró efectos de intoxicación al observar signos de inflamación, endurecimiento y necrosis de diferentes órganos en hámster dorado, al incorporar 30% de harina de lombriz al alimento del organismo. Estos efectos adversos fueron atribuidos a la presencia de aminos biógenas, relacionadas con el suministro de la harina en proporciones elevadas.

Los resultados obtenidos con la administración aguda de la harina de lombriz del presente trabajo, y al igual que los trabajos antes mencionados, sugieren que las proteínas de *E. foetida* son seguras para la alimentación de organismos monogástricos, en dosis que no sean elevadas (> 30%). Sin embargo, a fin de garantizar dicha premisa, es necesario estudiar los efectos toxicológicos de la harina de lombriz propuesta a largo plazo y estudiar los efectos histológicos en diferentes órganos.

Una de las principales causas por las cuales un alimento puede llegar a ser perjudicial para la salud de quien lo consume es la contaminación (que en algún momento de su producción se puede ocasionar por microorganismos patógenos entre los que destacan los siguientes géneros: *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Kocuria*, *Morganella*, entre otros (Triki, 2013)), razón por la cual es importante atender las reglamentaciones y protocolos que aseguren la inocuidad de los alimentos.

De manera general, en la norma CAC/RCP 1-1969 (Codex Alimentarius, 1969) se establecen los principios generales de higiene de los alimentos, donde el objetivo principal es establecer las condiciones de higiene necesarias para la producción de alimentos inocuos y aptos para el consumo. En la norma mencionada se resalta el control del tiempo y de la temperatura en la producción alimentaria, “*el control de la temperatura de los alimentos es una de las causas más frecuentes de enfermedades transmitidas por los productos alimenticios o del deterioro de estos...*” “*Debe haber sistemas que aseguren un control eficaz de la temperatura cuando ésta sea fundamental para la inocuidad y aptitud de los alimentos*”. En lo que respecta a la harina de lombriz, es importante tener un control preciso en el tiempo de exposición al calor durante su producción y minimizar el tiempo de envasado, con la finalidad de disminuir la probabilidad de proliferación microbiana.

De manera particular, los productos harinosos requieren un control de higiene más preciso debido a que algunos patógenos como *Salmonella* spp. o *Bacillus cereus* (principales

patógenos en productos con bajo porcentaje de humedad) pueden permanecer viables durante mucho tiempo y son más tolerantes al calor en productos alimenticios con baja actividad acuosa (Codex Alimentarius, 2015), por lo que la Norma CXC 75-2015 (Codex Alimentarius, 2015) regula las prácticas de higiene para alimentos con bajo contenido de humedad. Algunas de las especificaciones únicas para este tipo de alimentos incluyen una eliminación oportuna de toda acumulación de polvo resultante de la producción, ya que el polvo puede atraer y retener el agua pudiendo ser fuente de patógenos; además, contempla una limpieza y desinfección en seco, evitándose lo más posible el uso de agua y sugiere el uso de desinfectantes a base de alcohol.

En lo que respecta a la revisión de la normatividad en materia alimentaria, si bien no se prohíbe el aprovechamiento de la lombriz de tierra como una posible fuente de alimentación, tampoco es considerada en la actual normativa.

Para el aprovechamiento de la harina de lombriz de tierra como fuente de alimentación, primero es necesario definir legalmente el producto para que, una vez categorizado se precisen las cualidades nutricionales y sanitarias propias del alimento. En el Artículo primero del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (DOF, 1999) se establecen 17 categorías, en las cuales la harina de lombriz no está definida en su totalidad. No obstante, en el presente trabajo, atendiendo a la fracción XVII del Artículo primero, en relación con el 168 del reglamento referido, la harina de lombriz se puede definir como un suplemento alimenticio al no coincidir con una mejor categoría de las actualmente propuestas. El reglamento define como suplemento alimenticio *“aquellos que están constituidos por carbohidratos, proteínas, aminoácidos, ácidos grasos, metabolitos, plantas, hierbas, algas, alimentos tradicionales deshidratados u otros que establezca la Secretaría (de Salud), presentarse ya sea en forma aislada o en combinación, adicionados o no, de vitaminas o minerales y su consumo no deberá representar un riesgo para la salud”*.

Sin embargo, aunque actualmente la harina de lombriz pueda ser definida como suplemento alimenticio, esta categoría no representa en su totalidad una definición apropiada para el producto, ya que la definición establecida en el Artículo primero del RCSPS y en su jurisprudencia no se especifica el concepto “alimento tradicional”, Guerrero (2012) indica que un alimento tradicional está vinculado a términos como “habitual”, “herencia” y “simplicidad”. En ese sentido, la harina de lombriz no podría ser considerada

como un alimento tradicional. Un segundo punto que limita esta definición es el hecho de que en México los suplementos alimenticios legalmente no precisan los límites permisibles de agentes dañinos a la salud por lo que su producción no está regulada a fin de garantizar su inocuidad.

En vista de la falta de categorización de la harina de lombriz en la normativa vigente, es evidente la necesidad de crear una nueva categoría en la que se les incluyan a los alimentos como la harina de lombriz u otros alimentos como los obtenidos a partir de insectos. Una posible solución a esta problemática puede encontrarse en la normatividad española en la que se incluye la categoría de “nuevos alimentos”, de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo puede entenderse un “nuevo alimento” como: *“diversos tipos de alimentos que provienen de plantas, animales, microorganismos, cultivos celulares, minerales, etc., categorías específicas de alimentos (insectos, vitaminas, minerales, complementos alimenticios, etc.), alimentos resultantes de procesos y prácticas de producción y tecnologías de vanguardia (por ejemplo, estructura molecular nueva o modificada intencionadamente, nanomateriales), que no se produjeron ni se utilizaron antes de 1997”*.

Asimismo, para llevar a cabo el aprovechamiento de la harina de lombriz como una fuente alimenticia es necesario atender a los lineamientos en materia de inocuidad y respetar los límites máximos permisibles de diferentes agentes deletéreos como los establecidos en las Tablas 6 y 8, y con las demás reglamentaciones, con el fin de salvaguardar la salud de quien consuma la harina. Para garantizar que se cumplen con estos requerimientos, es necesario realizar el análisis microbiológico y la determinación de agentes tóxicos.

Aunado al potencial valor nutrimental que sugiere la harina de lombriz generada en un medio a base de composta, otro valor agregado es el contribuir a un buen manejo de la fracción orgánica (FO) de los residuos sólidos urbanos (RSU) a través del lombricompostaje. En la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 (ODGDF, 2012), se resalta la importancia del composteo: *“es una opción que permite reducir la FO al 25% de su peso original y aprovecharla, en lugar de enviarla a rellenos sanitarios que prolongan así su vida útil. El composteo de los RSU representa un beneficio económico y ambiental. La composta resultante puede ser utilizada como mejorador de suelos, nutriente o sustrato para cultivos de hortalizas y frutales, para áreas verdes públicas o privadas y viveros en general; además, su uso propicia la disminución de la aplicación de*

fertilizantes químicos y reduce la generación de gases de efecto invernadero”, además, se establecen los requisitos mínimos para la producción de composta a partir de la FO de los RSU, para que no presente un riesgo para la salud humana y el ambiente, si bien la norma antes mencionada no se limita a la harina de lombriz, sirve como un marco de referencia en la materia.

En la actualidad, los desechos orgánicos pueden tener un mejor manejo empleando técnicas como la lombricomposta, en la que además de reintegrar los nutrientes al suelo, se obtiene una importante cantidad de lombriz, misma que puede ser aprovechada como un producto alimenticio de interés nutricional por su composición química y la ausencia de toxicidad aguda.

Para ampliar el sustento teórico y metodológico vertido en este proyecto es conveniente continuar los estudios en torno a la harina de lombriz, haciendo énfasis en la evaluación del valor biológico y digestibilidad de su proteína, la identificación de los microorganismos y la determinación de metales pesados; así como estudios de toxicidad a largo plazo y estudios organolépticos.

IX. Conclusiones

- El análisis químico proximal a la harina de lombriz obtenida a partir de un sustrato a base de lombricomposta exhibió un porcentaje de 10.42% de cenizas totales, 13.16% de lípidos, 1.77% de fibra cruda, 4.82% de carbohidratos y un alto contenido de proteína de 71.6% que evidencia su potencial como posible alimento.
- La harina de lombriz no mostró signos de intoxicación aguda con un grado de sobrevivencia del 100%; su LD₅₀ fue de 5000 mg/kg por lo que no se considera de importancia tóxica en un modelo de intoxicación aguda.
- La actual legislación mexicana en materia alimentaria no muestra restricciones para el aprovechamiento de la harina de lombriz como posible alimento; tampoco especifica regulaciones sanitarias y de producción para alimentos no tradicionales como los insectos o el propuesto en este estudio. Esto evidencia la necesidad de modificar la normatividad vigente a fin de incorporar la regulación de posibles nuevas fuentes de alimento.
- La harina de lombriz obtenida a partir de un sustrato a base de lombricomposta en la FESI UNAM puede ser considerada como una posible opción de alimentación nutritiva. Para su aprovechamiento es necesario continuar con estudios que incrementen su conocimiento teórico y práctico.

Literatura citada

- Aira, M., Domínguez, J., Monroy, F. y Velando, A. (2007). Stress promotes changes in resource allocation to growth and reproduction in a simultaneous hermaphrodite with indeterminate growth. *Biological Journal of the Linnean Society*. 91(4): 593- 600.
- Albornoz, A. y Ortega, E. (2007). Evaluación de la eficiencia de la lombriz roja californiana *E. Foetida* para estabilización de lodos residuales de la PTAR salitre. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomas de Aquino, Colombia.
- Anitha, J. y Jayraaj, I. (2012) Nutritional and antioxidant evaluation of earthworm poder (Eudillus euginae). *International Research Journal of Pharmacy*. 3 (2): 177-180.
- Arango F. y Díaz, D. (2010). Evolución de la producción y desarrollo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y componentes físico-químicos del lombricompost con la utilidad de tres (3) tipos de sustratos. (Tesis de pregrado). Instituto Técnico Agrícola, México.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* 15 ed. Virginia, EUA: Association of Official Analytical Chemist.
- Bahadori, Z., Esmaielzadeh, L., Karimi-Torshizi, M., Seidavi, A., Olivares, J., Rojas, S., Khusro, A. y López, S. (2017). The effect of earthworm (*Eisenia foetida*) meal with vermi-humus on grow perfomance, hematology, immunity, intestinal microbiota, carcass characteristics, and meat quality of broiler chickens. *Livestock Science* 202: 74-81.
- Barbado L. *Cría de lombrices, Lombricultura Micro emprendimientos*. 1ra Ed. Buenos Aires Argentina: Editorial MPS S.R.L.
- Baudi, S. (2006). *Química de los Alimentos* 4ta ed. Cd. México, México: Pearson Educación.
- Bolougne, 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. *Revista Ciencia e Ingeniería*. 29(2): 91-96.

-
- Campos, C., Meléndez, O. y Morales, M. (1997). Uso de sustratos alimenticios en el desarrollo reproductivo y cantidad proteica de la lombriz tierra (*Eisenia foetida*) (tesis de pregrado). Universidad del Salvador, San Salvador.
- Candelaria, M., Navarro, M., Velázquez, C. y Velázquez, J. (2012). Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. *Estudios Agrarios*. México. Recuperado de: http://www.pa.gob.mx/publica/rev_53-54/analisis/elaboraci%C3%B3n_abono.pdf
- Castro, A. (2014). Evaluación de la producción de lombricompuestos a partir tres sustratos y uso de la lombriz como fuente de alimento para peces en cautiverio. (tesis de maestría) Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas, Colombia.
- Codex Alimentarius. (1969). Principios generales de higiene en alimentos. CAC/RCP 1-1969. *Secretaría, Comisión del Codex Alimentarius, Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias*, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh>
- Codex Alimentarius. (1997). Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables. CAC/GL 23-1997. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. EUA. Recuperado de: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh>
- Codex Alimentarius. (2015). Código de prácticas de higiene para alimentos con bajo contenido de humedad. CXC 75-2015. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. EUA. Recuperado de: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh>
- Crews, H. (1998). Speciation of trace elements in foods, with special reference to cadmium and selenium: is it necessary? *Spectrochimica Acta*. 53(2): 213-219.
- Delfín, I. y Chino, S. (2013). *Biomoléculas* 2ed. México: UNAM, FES Iztacala.
- deMan, M.J., Finley, J., Jeffrey, W. y Yong, C. (2018). *Principles of Food Chemistry* 4ed. Cham, Suiza: Springer International Publishing AG.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2015). Reglamento (UE) 2015/2283. Unión Europea. 11 de diciembre de 2015.

-
- Díaz, D., Cova, L., Castro, A., García, D. y Pérez, F. (2008). Dinámica del crecimiento y producción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en cuatro sustratos a base de estiércol bovino. *Agricultura Andina* (15): 39-55.
- Díaz, E. (2002). Guía de Lombricultura. *Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de La Rioja*. España. Recuperado de: <https://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>
- DOF. (1978a). NMX-F-066-S-1978. México. 3 de noviembre de 1978.
- DOF. (1978b). NMX-F-089-S-1978. México. 3 de noviembre de 1978.
- DOF. (1979). NMX-F-089-S-1978. México. 27 de marzo de 1979.
- DOF. (1980). NMX-F-089-S-1978. México. 4 de agosto de 1980.
- DOF. (1994). NOM-112-SSA1-1994. México. 15 de agosto de 1994.
- DOF. (1995a). NOM-012-ZOO-1993. México. 17 de enero de 1995.
- DOF. (1995b). NOM-092-SSA1-1994. México. 12 de diciembre de 1995.
- DOF. (1995c). NOM-109-SSA1-1994. México. 21 de septiembre de 1995.
- DOF. (1995d). NOM-110-SSA1-1994. México. 16 de octubre de 1995.
- DOF. (1995e). NOM-111-SSA1-1994. México. 13 de septiembre de 1995.
- DOF. (1995f). NOM-113-SSA1-1994. México. 25 de agosto de 1995.
- DOF. (1995g). NOM-114-SSA1-1994. México. 22 de septiembre de 1995.
- DOF. (1995h). NOM-115-SSA1-1994. México. 25 de septiembre de 1995.
- DOF. (1995i). NOM-116-SSA1-1994. México. 8 de octubre de 1995.
- DOF. (1995j). NOM-117-SSA1-1994. México. 16 de agosto de 1995.
- DOF. (1997). NOM-143-SSA1-1995. México. 19 de noviembre de 1997.
- DOF. (1999). *Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios*. 9 de agosto de 1999.

-
- DOF. (2000a). NOM-061-ZOO-1999. México. 11 de octubre de 2000.
- DOF. (2000b). NOM-127-SSA1-1994. México. 22 de noviembre de 2000.
- DOF. (2009). NOM-247-SSA1-2008. México. 27 de julio de 2009.
- DOF. (2010). NOM-251-SSA1-2009. México. 1 de marzo de 2010.
- DOF. (2012). Reglamento de la Ley Federal de Sanidad Animal. México. 12 de mayo de 2012.
- DOF. (2014). Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios. México. 14 de febrero de 2014.
- DOF. (2015). NOM-033-SAGZOO-2014. México. 26 de agosto de 2015.
- DOF. (2018a). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México. 19 de enero de 2018.
- DOF. (2018b). *Ley General de Salud*. México. 12 de junio de 2018.
- DOF. (2018c). Ley Federal De Sanidad Animal. México. 16 de febrero de 2018.
- Domínguez J. y Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*. 26:309-320.
- 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. *Ecosistemas* 18(2): 20-31.
- Durán, L. y Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 33(2): 275-281.
- Escudero, E. y González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 21(2): 61-72.
- Estuardo, O. (1991). Estudio de factibilidad para la producción y venta de lombriz roja de california (*Eisenia phoetida*), como fuente complementaria de ingresos de la ceba de ganado en confinamiento (tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana: Guatemala.

-
- Eweis, J. (1999). *Principios de biorecuperación, Tratamiento para contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos*. Madrid, España: McGraw-Hill/ Interamericana de España.
- FES Iztacala (2013). Comisión de ética. *Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Iztacala*. México. Recuperado de: http://antares.iztacala.unam.mx/cetica/wp-content/uploads/2016/12/docrector_CETICA_abr2013.pdf
- Flores, C. (2010). La lombricultura en la producción agrícola utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: México.
- García, D., Cova, L., Scorza, J., González, M., Pizzani, M., Perea, F. y González, D. (2012). Efecto de dietas proteica a base de harina de lombriz roja (*Eisenia* spp.) en el comportamiento del hámster dorado (*Mesocricetus auratus* L.). II. Morfometría de órganos e intestino. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*. 29:560-584.
- García, I. y Medina, R. (2013). Alimento alternativo a partir de lombriz *Eisenia foetida* generada en esquema productivo de RSO mediante lombricompostaje. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* 10: 416–435.
- García, M., 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): 333-337.
- Girón, M. (2006). Evaluación de dos métodos en la extracción de lombriz coqueta roja (*Eisenia foetida*), tradicional y de capas en la producción de lombrihumus (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala.
- Gómez, S., Angeles, M., Núñez, G. y Figueroa, U. (2013). *Guía de buenas prácticas de manejo de excretas: Metodologías para la elaboración de compostas y lombricompostas de excretas de ganado de leche*. INIFAP. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/4126> González M. y Peñalosa I. (2002). *Biomoléculas*. México: Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

-
- Gutiérrez, J. (2001). *Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos*. Madrid, España. Díaz de Santos.
- Haug, R. (1993). *The practical Handbook of Compost Engineering*. Florida, EUA: Lewis Publishers.
- Hrzenjak, T., Hrzenjak, M., KASUBA, V., EFENBERGER, P. M. & LEVANAT, S. (1992) A new source of biologically active compounds-earthworm tissue (*Eisenia foetida*, *Lumbricus rubellus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*. 102(3):441-447.
- Ibáñez, I., Herrera, C., Velásquez, L. y Hebel, P. (1993). Nutritional and toxicological evaluation on rats of earthworm (*Eisenia foetida*) meal as protein source for animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 42(1-2): 165-172.
- Kiss, G. y Encarnación, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT* (79): 39-51.
- Laich, F. (2011). *El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje*. Jornada Técnica: Fertilidad y calidad del suelo. Experiencias de fertilización orgánica platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Recuperado de <https://www.icia.es/biomusa/en/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>
- Latimer, G. y Cunniff, P. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International* 20th edition. Gaithersburg, Md.: AOAC International. 3172 p.
- Lezcano, J. y Borjas, G. (2017). Optimización en la elaboración de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente proteica en alimento para alevines de tilapia (*Oreochromis ssp.*) (tesis de pregrado) Escuela Agrícola Panamericana: Honduras.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. México. 8 de octubre de 2003.
- Lirong, J., Huiming, J., Guoping, Z. y Guizhi, X. (2000). Changes in coagulation and tissue plasminogen activator after the treatment of cerebral infarction with lumbrokinase. *Clinical Hemorheology and Microcirculation* 23(2,3,4): 213-219.

-
- Li, M., Xu, G., Yu, R., Wang, Y. y Yu, Y. (2019). Bioaccumulation and toxicity of pentachloronitrobenzene to earthworm (*Eisenia fetida*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 174:429-434.
- Liu, T., Wang, X., Chen, D., Li, Y. y Wang, F. (2018). Growth, reproduction and biochemical toxicity of chlorantraniliprole in soil on earthworms (*Eisenia fetida*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 150: 18-25.
- Lorke, D. (1981). A new approach to practical acute toxicity testing. *Archives of Toxicology*. 54(4): 275-287.
- McKee, T. y McKee, J. R. (2012). *Biochemistry: The molecular basis of life*. Oxford: Oxford University Press.
- Manual de lombricultura.com. (2019). *Lista de lombricultores en México*. Recuperado de <https://www.manualdelombricultura.com/lombricultores/mexico.html>.
- Martínez, C. (2014). *Lombricultura en Sistema de Agronegocios de Traspatio*, SAGARPA. Recuperado de <http://www.sagarpa.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>.
- Martínez, C., Romero, M., Corlay, L., Trinidad A. y Ramírez, F. (1999). *Simposium internacional y reunión nacional, Lombricultura y abonos orgánicos*. Secretaría de agricultura, ganadería y desarrollo rural y Subsecretaría de Desarrollo Rural, Unidad de Identificación y Promoción de Mercados.
- Medina, A., Cova, J., Vielma, R., Carlos, M. y Torres, J. (2003). Immunological and chemical analysis of proteins from *Eisenia foetida* earthworm. *Food and Agricultural Immunology*. 15(3-4): 255-263.
- Meléndez, O. y Morales, M. (1997). Uso de sustratos alimenticios en el desarrollo reproductivo y cantidad proteica de la harina de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) (tesis de pregrado) Universidad de el salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas: San Salvador.
- Morales, J., Fernández, M., Montiel, A. y Peralta, B. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnia*. XI(1):19-26.

-
- Nielsen S. (2010). *Food Analysis Laboratory Manual* 2da Ed. Nueva York: Plenum Publishers.
- Ordaz-Lugo, C., Marcano-Moreno, C., Riera-Nelson, M., Leyva-Téllez, C. y Del valle-Montero, L. (2015). Producción y composición química de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). *Hombre, Ciencia y Tecnología* 19(3): 16-21.
- Ortiz, N., Segovia, M. y Morazan, F. (2010). Uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en estado fresco, como complemento proteico en la alimentación de pollos de engorde, a diferentes porcentajes en la ración en el municipio y departamento de San Vicente, el salvador, C.A. (tesis pregrado). Universidad de el Salvador, Facultad Multidisciplinaria Paracentral: San Salvador.
- Pérez, J. (2003). Cinética de la lombriz de tierra (*Eisenia fétida*) (Edwards y Bholen, 1996) en la generación de humus para la producción de nopal verdura (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León: México.
- Ramos, J., Pino, J. y Cuevas, S. (1998). Insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo. *Anales del instituto de biología*. 69(1): 65-104.
- Repetto, M., Sanz, P., Jurado, C., López-Artíguez, M., Menéndez, M., y de la Peña, E. (1995). *Glosario de términos toxicológicos IUPAC (Duffus y cols. 1993)*. Sevilla: Asociación Española de Toxicología.
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América latina*. FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Ruiz, M. (2011). *Taller de elaboración de lombricomposta, porque tener lombrices nos beneficia a todos*. Universidad Iberoamericana. Recuperado de <https://ibero.mx/web/filesd/publicaciones/taller-de-lombricomposta.pdf>
- Saavedra, M. (2007). Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetida* (tesis doctoral). Universidad de Granada, Instituto de Biotecnología: España.
- Sabac, C. (1987). Lombricultura un amplio horizonte”. Centro de desarrollo de Lombricultura SABAC-CHILE. Chile.

-
- Sales, F. (1996). Harina de lombriz, alternativa proteica en trópico y tipos de alimento. *Folia Amazónica* 8(2) 77-90.
- Schingoethe, D. y García, A. (2004). Alimentación y manejo de becerras y vaquillas lecheras. *Extension Extra. Paper* 530. http://openprairie.sdstate.edu/extension_extra/530
- Schuldt, M., Rumi, A. y Gutiérrez, D. (2005). Determinación de “edades” (clases) en poblaciones de *Eisenia fétida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobilógicas. *Revista del Museo de La Planta* 17(170):1-10.
- SEDESOL. (2013). *Residuos*. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12eng/pdf/Cap7_residuos.pdf.
- SNIAR-SEMARNAT. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap0_docs_previos.pdf
- Somarruba J. y Guzmán F. (2004). *Guía de lombricultura, Guía técnica No 4*. Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.
- Suárez-Hernández, L., Barrera-Zapata, R. y Forero-Sandoval, A. (2016). Evaluación de alternativas de secado en el proceso de elaboración de harina de lombriz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17(1): 55-71.
- Tineo, B. (1994). *Crianza y manejo de lombriz de tierra con fines agrícolas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Triki, M. (2013). *Aminas bigénicas en productos cárnicos más saludables con base en su contenido lipídico (tesis de pregrado)*. Universidad Complutense de Madrid: España.
- Valle, P. y Lucas, B. (2000). *Toxicología de alimentos*. México: Instituto Nacional de Salud Pública, Centro Nacional de Salud Ambiental.
- Vallejo, J. y González, J. (2013). Las lombrices de tierra en la medicina popular española: contraste con el uso medicinal a través de la Historia. *Medicina Naturista*. 7(2): 81-86.

-
- Valero, T., Del Pozo, S., Ruiz, E., Ávila, J. y Varela, G. (2010). *Guía nutricional de la carne*. Fedecarne. Recuperado de. <http://carnimad.es/ficheros/swf/pdf/guiaNutricion.pdf>
- Vielma, R. y Medina, A. (2006). Determinación de la composición química y estudios de solubilidad en la harina de lombriz *Eisenia foetida*. *Revista de la Facultad de Farmacia*. 48(1):1-4.
- Vielma, R., Carrero, P., Rondón, C. y Medina, A. (2007). Comparación del contenido de minerales y elementos trazas en la harina de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) utilizando dos métodos de secado. *Saber, Universidad de Oriente*. 19(1):83- 89.
- Vielma-Rondon, R., Ovalles-Durán, F., León-Leal, 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). *Revista de la Facultad de Farmacia*. 44(1):43-58.
- Villegas-Cornelio, V. y Laines, J. (2017). Vermicomposting: I progreses and strategies in the treatment of organic solid waste. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(2):393-406.
- Wang, C., Rong, H., Liu, H., Wang, X., Gao, Y., Deng, R., Liu, R., Liu, Y. y Zhang, D. (2018). Detoxification mechanism, defense responses, and toxicity threshold in the earthworm *Eiseania foetida* exposed to ciprofloxacin-polluted soils. *Science of the Total Environment*. 612:442-449.
- Zhenjun, S., Xianchun, L., Lihui, S. y Chunyang, S. (1996). Earthworm as a potential protein resource. *Ecology of Food and Nutrition* (36): 221-236.
- Zhenjun, S. y Hao, J. (2017). Nutritive Evaluation of Earthworms as Human Food. En: Heimo, K. (ed) *Future Foods*. (127- 141p.p.). Croacia: IntechOpen.

Apéndices

A continuación, se presentan los apéndices de los procedimientos metodológicos del trabajo con fines ilustrativos.

Apéndice 1. Crianza de la lombriz de tierra

La crianza de los ejemplares fue realizada por el programa de manejo integral de residuos de la FESI, con la técnica descrita por Gómez y colaboradores en el 2013.

La composta madura, alimento de las lombrices, proviene de la degradación de materia procedente de los residuos orgánicos generados en las actividades del comedor y jardinería de la FESI.

La generación de composta madura comenzó con la obtención de la FORSU. Posteriormente se realizó una trituración manual de sus componentes para facilitar su degradación. El compostaje se llevó a cabo en contenedores aislados de plástico con una capacidad de 200 L, con humedad controlada. Los residuos fueron volteados periódicamente (cada tres días) con la finalidad de airear los RSO. Las diferentes etapas de la lombricomposta se ejemplifican en la Figura 7.

Cuando la composta alcanzó su etapa de maduración (temperatura estable entre 20 y 25 °C, pH en cercanías de la neutralidad y humedad entre el 70 y 80% (Tineo, 1994) se trasladó a nuevos contenedores; posteriormente fueron inoculados con lombrices de tierra.

Para el control de la humedad, acidez y temperatura del sustrato en los contenedores se utilizó un potenciómetro de campo y regaderas de plástico para humedecer el sustrato y mantenerlo en los niveles óptimos para el desarrollo de los ejemplares.



Figura 7. Lombricompostaje: A) desechos del comedor universitario, B) desechos de jardinería, C) compostaje de RSO, D) proceso de aireación de la composta, E) lombrices en composta madura.

Apéndice 2. Determinación de cenizas totales (AOAC, 923.03)

Fundamento:

La materia seca de los alimentos está constituida de compuestos orgánicos e inorgánicos. Los primeros son susceptibles de quemarse en tanto que los segundos no; estos quedan como residuos en forma de cenizas cuando la muestra se quema hasta calcinación (González y Peñalosa, 2002).

Procedimiento:

El contenido de cenizas de la harina se determinó por triplicado mediante el método de calcinación. Se colocó 1 g de la muestra seca (previamente obtenida durante la determinación de humedad) en crisoles puestos a peso constante. Posteriormente, la muestra se carbonizó en parrilla dentro de una campana con extractor, finalmente, se calcinó en mufla 600 °C por 3 h, tal como se muestra en la Figura 8.

Cálculos:

El contenido de cenizas de la muestra se calculó como la diferencia de peso expresada en % de cenizas, de acuerdo con la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{crisol seco} + \text{muestra}) - (\text{crisol seco} + \text{muestra calzinada})}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$



Figura 8. A) muestra de harina de lombriz calcinada en crisoles, B) mufla a 600 °C.

Apéndice 3. Determinación de lípidos totales, método de Soxhlet (AOAC, 996.06)

Fundamento:

El método de Soxhlet para la determinación de lípidos totales consiste en una extracción semicontinua donde una cantidad de disolvente rodea la muestra y se calienta a ebullición. Una vez dentro del Soxhlet, el líquido condensado llega a cierto nivel y es sifonado de regreso al matraz de ebullición, la grasa se mide por pérdida de peso de la muestra o por cantidad de muestra removida. Su fundamento químico se basa en la solubilidad de los lípidos en solventes orgánicos (Nielsen, 2010).

Procedimiento:

Se colocaron 3 g de la muestra seca (previamente obtenida de la determinación de humedad) dentro de un cartucho para extracción Soxhlet compuesto de papel Wathman Num.1 con una cama de algodón. Se determinó el peso del cartucho, hasta peso constante.

Posteriormente, el cartucho con la muestra de harina se colocó dentro del sistema de extracción Soxhlet y se le agregó disolvente hexánico hasta que el sistema realizó sifón en dos ocasiones. El matraz del sistema se sometió a suave ebullición en parrilla eléctrica (Figura 9).

Terminada la extracción de lípidos se secaron los cartuchos a temperatura ambiente y posteriormente en la estufa a 60 °C con la finalidad de eliminar el disolvente que estos contenían. Posteriormente, se pesaron los cartuchos secos con muestra desengrasada hasta que se obtuvo un peso constante (AOAC, 996.06).

Cálculos:

El contenido de lípidos totales de la muestra se calculó por diferencia de peso y su resultado expresado en % de lípidos totales.

$$\% \text{ lípidos totales} = \frac{(\text{cartucho Soxhlet} + \text{muestra}) - (\text{cartucho Soxhlet} + \text{muestradesengrasad})}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$



Figura 9. Extracción de lípidos totales de la harina de lombriz montada en un equipo Soxhlet.

Apéndice 4. Determinación de proteínas, método de micro Kjeldahl (AOAC, 2001.11)

Fundamento:

La digestión de la muestra se efectúa con un oxidante fuerte como el ácido sulfúrico concentrado. Como productos de la oxidación de compuestos orgánicos se tienen CO_2 y H_2O . El H_2SO_4 se reduce a SO_2 y éste reduce el nitrógeno de compuestos orgánicos e inorgánicos formándose así NH_3 . En presencia de H_2SO_4 el NH_3 se transforma en $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Para catalizar la reacción se utiliza una mezcla de Na_2SO_4 (que incrementa el punto de ebullición del H_2SO_4) y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (que acelera la reacción).

Por cada átomo de nitrógeno presente se forma un ion borato (BO^2), éste se neutraliza con una solución valorada de HCl y de manera indirecta se conoce el contenido de nitrógeno (González y Peñalosa, 2002).

Procedimiento:

La prueba se desarrolló por triplicado, se empleó el método de micro Kjeldahl, usando como control caseína.

Se colocaron 0.025 g de muestra seca y desengrasada (obtenida con anterioridad de la determinación de lípidos totales) en el matraz de Kjeldahl, junto con 0.3 g de catalizador (mezcla de 99 g de K_2SO_4 y 0.18 g de CuSO_4 molidos y 1 g de HgO) y 2mL de H_2SO_4 concentrado. El matraz se colocó en el digestor, hasta que la muestra transparento.

Concluida la digestión, se enfrió el matraz y posteriormente se disolvieron los sólidos enjuagando de tres a cinco veces con H_2O destilada; el material se transfirió cuantitativamente a un matraz de fondo plano y se agregó a dicho matraz 8mL de NaOH al 30%. El destilado se recuperó colocando en el matraz receptor 8mL de H_3BO_3 al 4% y tres gotas de la solución indicadora (indicador verde de bromocresol al 0.1% y rojo de metilo al 0.1% diluidos en alcohol etílico al 95%). Se enjuagó el destilador con la finalidad de

recuperar la muestra que pueda estar adherida en él, hasta que alcanzó un volumen de 50 mL (Figura 10).

Finalmente, el destilado se tituló con HCl 0.02N, hasta virar a una coloración rojiza.

Cálculos:

El porcentaje de N₂ y de proteína de la harina se calculó con base en los mililitros de HCl gastados en la titulación de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno total} = \text{NHCl} \times \text{volumen de ácido consumido} \times 14 \text{ g N}$$

En donde:

% N= Porcentaje de nitrógeno en la muestra

NHCl= Normalidad del HCl en moles/1000mL

Volumen del ácido consumido= (mL del ácido estandarizado para la muestra) - (mL de ácido estandarizado para el blanco).

14= Peso atómico del nitrógeno.

Para calcular el porcentaje de proteína:

$$\% \text{ de proteína} = [(\text{mg de N} / \text{mg muestra}) \times \text{factor de conversión}] \times 100$$

Factor de conversión= 6.25 (para proteína de origen animal)



Figura 10. A) Digestión de la harina de lombriz, B) destilación de la harina de lombriz digerida.

Apéndice 5. Determinación de fibra cruda método de Kennedy (AOAC, 91.43)

Fundamento:

Los componentes de la porción orgánica o del combustible de la muestra seca se dividen en: proteína cruda o bruta, grasa cruda, extracto libre de nitrógeno y fibra cruda. Estos dos últimos constituyen los carbohidratos.

Químicamente, la fibra cruda corresponde a la lignina y a la celulosa, las cuales son insolubles en agua, también resisten la acción hidrológica de los ácidos y de los álcalis fuertes, diluidos y en caliente sucesivamente durante media hora. En el caso de alimentos de origen animal, la fibra cruda corresponde a proteínas que resisten la acción hidrolítica como las escleroproteínas y las queratinas (González y Peñalosa, 2002).

La determinación de la fibra cruda se basa en la simulación de la digestión en el organismo por tratamientos ácidos y alcalinos, separando los constituyentes solubles de los insolubles que constituyen los desperdicios orgánicos a través de las heces.

Procedimiento:

En un matraz balón de fondo plano se colocó 1 g de harina de lombriz seca y desengrasada (previamente obtenida de la determinación de lípidos totales), 0.5 g de asbesto y 200 mL de H_2SO_4 0.255 N. La solución se calentó por 30 min a una temperatura que permitió que hirviera. Posteriormente se agregaron 200 mL de NaOH al 0.81 N y de nuevo el matraz se calentó durante 30 min. Transcurrida la hidrólisis, la solución se filtró al vacío sobre papel Wathman núm. 1 colocado en un embudo de Buchner (Figura 11). Después se lavó con agua destilada y con H_2SO_4 0.255 N. A continuación, se realizó un segundo lavado con alcohol y éter. El residuo sólido se secó en una estufa marca Felisa con termómetro a 60 °C hasta obtener un peso constante. Una vez determinado el peso se calcinó en mufla a 600 °C durante 30 min. El contenido de fibra cruda se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fibra cruda } \frac{(Ps + Pp) - (Pc + Pcp)}{M} \times 100$$

En donde:

Ps: masa en g del residuo seco

Pp: masa en g del papel filtro

Pcp: masa en g de las cenizas del papel

M: masa en g de la muestra

Pc: masa en gramos de las cenizas



Figura 11. Filtración al vacío de la solución digerida de harina de lombriz.