



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis

“Evaluación de las propiedades físico-químicas y determinación de isothermas de adsorción de agua de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)”

PRESENTA:

Jesus Daniel Chino Rojas

CON NÚMERO DE CONTROL

19TE0436

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

IIAL-2010-219

DIRECTOR (A) DE TESIS:

DRA. JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA

TEZIUTLÁN, PUEBLA, FEBRERO 2024

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Teziutlán, Puebla., el día 11 del mes de enero del año 2023, el que suscribe Jesús Daniel Chino Rojas alumno de la carrera de **Ingeniería en Industrias Alimentarias** con número de control 19TE0436, adscrito al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis de licenciatura bajo la dirección de la Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa y Dra. Mayra Nicolás García ceden los derechos del trabajo titulado “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE AGUA DE LA HARINA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA)”, al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y a los directores del proyecto para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director (es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: julieta.ve@teziutlan.tecnm.mx; mayra.ng@teziutlan.tecnm.mx; L19TE0436@teziutlan.tecnm.mx ; si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Jesús Daniel Chino Rojas

Vo. Bo



Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa
Director (a) de Tesis



Dra. Mayra Nicolás García
Director (a) de Tesis

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado bajo la dirección de la Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa y la Dra. Mayra Nicolás García, en el laboratorio de Química, Análisis, Microbiología y Procesos del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

Al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), mi casa de estudios, por brindarme y generarme las herramientas para mi desarrollo profesional y personal.

Al CEPROBI-IPN y ENCB-IPN, por el apoyo profesional para el desarrollo de análisis como proteína, fibra, obtención de imágenes por microscopía electrónica, entre otras. Al grupo de trabajo del Dr. Antonio Ruperto, es especial a la Dra. Sandra Victoria Ávila Reyes.

Dedicatoria

Vivo creyendo que el agradecimiento es la memoria del corazón, por lo que siempre dedicare cada logro y victoria a Dios, mis padres, hermanos y todas aquellas personas que siempre se preocuparon por mí, de esta manera sufriré y aprenderé de cada fracaso que la vida me presente con la intención de mejorar siempre.

A mis padres Josefina y Miguel que siempre me apoyaron y fueron mi pilar fundamental para salir adelante, a mi hermano Víctor que jamás me dejó solo desde que éramos pequeños, así como mis hermanos los Chalos que siempre me apoyaron para lograr mis metas y mis hermanas que siempre me brindaron su atención cuando la necesite.

A la Dr. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa que me guió a lo largo de 9 semestres para mi formación profesional. Siempre confió en que los malos también podemos ser buenos si no lo creemos y proponemos, le agradezco por todos los consejos, aprendizajes y experiencias que logré vivir con una herramienta tan sencilla que me inculco, como lo es el conocimiento aunado de la disciplina que hoy forman parte de mi vida gracias a usted.

A las ingenieras Karla y Sandy que siempre me brindaron el material como también el apoyo para la realización de mis actividades, además de los consejos y la alegría que nunca faltó aun en los momentos difíciles.

A mi compañera de vida Dulce que a pesar de que la conocí en la etapa final de mi carrera hoy es sin duda mi inspiración para superarme día a día, le agradezco totalmente por quedarse conmigo a pesar de las circunstancias y adversidades que la vida nos presentó.

A mis amigos Cecilia, Violeta, Fabiola, Itzel, Ángel y Diego, que desde el inicio de nuestra carrera formamos a lo largo del semestre un buen equipo y una muy bonita amistad, por lo que siempre les desearé el bien y estaré cuando me necesiten.

Productos de Investigación Asociados a la Tesis

- Tercer encuentro estatal de jóvenes investigadores. Modalidad virtual. (2022)
Proyecto: Crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), para la obtención de harina rica en proteína
- Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. (2022) Modalidad poster, Medellín, Colombia. Proyecto: Crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), para la obtención de harina rica en proteína
- Crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), para la obtención de harina rica en proteína. Ganador de Expociencias Puebla. (2021). Acreditación para participar en Expo Ciencias Internacional Chile 2022 (octubre 2022).
- Crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), para la obtención de harina rica en proteína. Ganador de Expociencias Puebla. (2021). Acreditación para participar en Expociencias Nacional Durango 2021.

Resumen

El aumento de la inseguridad alimentaria en los países subdesarrollados exige de nuevas fuentes proteicas sustentables. El presente estudio propone la crianza de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en la región VI del estado de Puebla para la elaboración de harina y su caracterización físico-química como fuente alternativa proteica. Los resultados mostraron que la temperatura óptima de crecimiento para la lombriz roja californiana en Teziutlán, Puebla es de: 20-25°C, pH 6.5 – 7.5 y una humedad entre 70-80%. Las lombrices presentaron dimensiones de: longitud (3.8 cm; 5.8 cm; 9.8 cm) y peso (0.3 g; 0.4 g; 0.7 g), para lombriz pequeña, joven y adulto respectivamente. La harina de lombriz sacrificada con NaCl presento un contenido nutricional de: 9.21% humedad, 25.87 % grasa 53.35 % proteína, 8.18% cenizas, 3.39 carbohidratos). La capacidad de retención de agua presentó valores en un rango de 6.73-7.57, en cuanto a los índices de índice de absorción de agua (2.60); índice de solubilidad en agua (15.89); poder de hinchamiento (2.51). El análisis de textura de imagen mostró un cambio de la microestructura de las harinas obtenidas dependiente de la temperatura de deshidratación empleada y el tipo de molienda aplicado, lo que se ve reflejado en las propiedades de flujo de las harinas. Las isothermas de adsorción se clasifican en una isoterma sigmoideal tipo I y II, frecuentes en alimentos no porosos y alimentos complejos que contienen materiales poliméricos como: proteínas y polisacáridos y estructuras amorfas. Los resultados mostraron que la harina de lombriz podría ser una fuente de alta proteína que ayude a disminuir la inseguridad alimentaria de la región VI del estado de Puebla y con ello aporta al objetivo 2 “Hambre Cero” de los 17 objetivos planteados por ONU para el 2030.

Palabras clave: lombriz roja californiana; lombricultura; harina; proteína.

Abstract

The increase of food insecurity in underdeveloped countries requires new sustainable protein sources. This study proposes the breeding of the red California earthworm (*Eisenia foetida*) in region VI of the state of Puebla to produce flour and its physicochemical characterization as an alternative protein source. The results showed that the optimum growth temperature for the red Californian earthworm in Teziutlán, Puebla is: 20-25 °C, pH 6.5 - 7.5 and humidity between 70-80%. The worms presented dimensions of length (3.8cm; 5.8cm; 9.8cm) and weight (0.3 g; 0.4 g; 0.7 g), for small, young, and adult worm respectively. The worm meal sacrificed with NaCl had a nutritional content of 9.21% moisture, 25.87% fat, 53.35% protein, 8.18% ash, 3.39 carbohydrates). The water retention capacity presented values in a range of 6.73-7.57, in terms of water absorption index (2.60); water solubility index (15.89); swelling power (2.51). Image texture analysis showed a change in the microstructure of the obtained flours dependent on the dehydration temperature used and the type of milling applied, which is reflected in the flow properties of the flours. The adsorption isotherms are classified in a type I and II sigmoidal isotherm, frequent in non-porous foods and complex foods containing polymeric materials such as: proteins and polysaccharides and amorphous structures. The results showed that earthworm meal could be a source of high protein that helps to reduce food insecurity in region VI of the state of Puebla and thus contributes to goal 2 "Zero Hunger" of the 17 goals set by the UN for 2030.

Key words: Californian red earthworm; vermiculture; flour; protein.

Introducción

En la actualidad el incremento de la tasa poblacional tiene la necesidad de buscar fuentes alternativas de alimentación más sustentables. La industria alimentaria es una de las pioneras para contribuir con esta necesidad, con la búsqueda de nuevas fuentes alternativas con un importante contenido nutricional que satisfagan las deficiencias de la alimentación en la sociedad. De acuerdo con la Declaración Universal de Derechos Humanos declaro a nivel mundial que a nivel individuo todos tienen derecho a un nivel de vida eficiente que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación” (General et al., 1948). Sin embargo, tener acceso a este derecho no es una tarea fácil, sobre todo en los países subdesarrollados debido a que las familias no tienen recursos para adquirir suficientes alimentos nutritivos, de origen vegetal (frutas y verduras frescas, legumbres) y origen animal (carne, huevos, leche o pescado), a diferencia de alimentos ricos en grasas, azúcar y sal que son baratos y se pueden adquirir más fácilmente, lo que posibilita el rápido aumento del sobre peso y la obesidad entre los niños y adultos (Morales et al., 2018). En los años 70 surge el concepto de seguridad alimentaria, el cual, se fue modificando hasta que en 1996 en la Cumbre Mundial de la Alimentación (FAO, FIDA y PMA 2013), se concluyó que se alcanza una seguridad alimentaria cuando: “a nivel de individuo, hogar, nación y global, todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana”.

Las lombrices de tierra son un componente principal de los ecosistemas terrestres que dominan la biomasa de los invertebrados del suelo en diferentes tipos de tierra. La lombriz de tierra *Eisenia foetida* y otras especies son una alternativa para la producción de lombrices y el tratamiento de residuos orgánicos en forma de abono y fuente de proteínas (Rincones et al., 2023). En relación con la problemática de la inseguridad alimentaria que se incrementó debido a la pandemia del COVID – 19 y con el buen estatus de *Eisenia foetida* (EF); la obtención de harina a partir de EF y

su aprovechamiento para el desarrollo de productos de interés alimentario podría ayudar a disminuir la malnutrición y con ello contribuir a la seguridad alimentaria de la región. De acuerdo con García-Solís (2023) la harina de EF es una posible solución a la malnutrición, dado que contiene del 62%- 82% de proteínas de calidad y la totalidad de aminoácidos esenciales. Por todo lo anterior, la búsqueda continua de alimentos que puedan estar disponibles para la sociedad, así como accesibles y que al mismo tiempo contengan la cantidad de proteínas necesarias para lograr una seguridad alimentaria en la sociedad, se ha vuelto una tarea urgente de realizar. Es por ello, que el objetivo del presente proyecto es la crianza de la lombriz roja californiana en la región nororiental del estado de Puebla, así como la caracterización físico-química de la harina obtenida a partir de *Eisenia foetida*, que ayude disminuir la inseguridad alimentaria.

Índice General

Índice de Tablas.....	12
Índice de Figuras.....	13
Índice de Abreviaturas.....	14
1. Descripción de la Empresa u Organización y del Puesto o Área del Trabajo del Estudiante	16
1.2 Planteamiento del Problema	17
1.2.1 Preguntas de Investigación	18
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 Justificación de la Investigación.....	19
1.5 Hipótesis.....	20
2.1 Fundamentos Teóricos.....	22
2.1.1 Seguridad Alimentaria	22
2.2 Proteína	22
2.2.1 Aminoácidos.....	24
2.3 Fuentes de Harinas Convencionales	25
2.4 Fuentes de Harinas no Convencionales	26
2.5 Lombriz Roja Californiana.....	27
2.5.1 Condiciones Óptimas Para el Desarrollo de la Lombriz.....	28
2.5.2 Impacto ambiental de la lumbricultura	28
2.6 Propiedades Funcionales de la Harina	29
2.7 Importancia del Agua en los Alimentos	30
2.7.1 Isotermas de Adsorción.....	31

3.1 Procedimiento y Descripción de las Actividades Realizadas	35
3.1.1 Desarrollo Experimental	35
3.1.2 Obtención de la Lombriz Roja Californiana.....	36
3.1.3 Acondicionamiento.....	36
3.1.4 Criterio de Crianza y Climatización	36
3.1.5 Cinéticas de Acondicionamiento	37
3.2 Harina de Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>).	38
3.3 Análisis Químico-proximal.....	40
3.3.1 Determinación de Humedad	40
3.3.2 Determinación de Cenizas	41
3.3.3 Determinación de Grasa (método soxhlet).....	41
3.3.4 Determinación de Proteína (método Micro Kjendahl).....	42
3.4 Propiedades Tecno-funcionales.....	43
3.4.1 Capacidad de Retención de Agua (CRA)	43
3.4.2 Determinación de Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad de Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)	43
3.4.3 Actividad de Agua	44
3.5 Propiedades de Flujo de la Harina.....	44
3.5.1 Densidad Aparente (DA).....	44
3.5.2 Densidad Empacada (DE).....	45
3.5.3 Índice de Carr (IC).....	45
3.5.4 Coeficiente de Hausner (CH)	45
3.5.5 Ángulo de Reposo.....	46
3.5.6 Microscopia Electrónica de Barrido Ambiental (ESEM).....	46

3.5.7 Análisis Digital de Imagen	46
3.6 Isotermas de Adsorción.....	46
3.7 Análisis Estadístico.....	49
4.1 Efecto de las Variables Ambientales en el Acondicionamiento y Crecimiento. .	51
4.1.1 Crecimiento y reproductividad de la lombriz roja californiana	53
4.2 Obtención de harina de lombriz roja californiana.	56
4.3 Análisis Químico Proximal.....	57
4.4 Propiedades Tecno-funcionales.....	59
4.4.1 Capacidad de Retención de Agua (CRA).	59
4.4.2 Determinación de Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad de Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH).	60
4.5 Propiedades de Flujo de la Harina.....	61
4.6 Isotermas de Adsorción.....	66
5.1 Conclusión	69
6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas	71
7.1 Fuentes de Información	73
7.2 Anexos.....	78

Índice de Tablas

Tabla 1. Etapa de crecimiento de lombriz roja californiana mediante parámetros morfológicos.	38
Tabla 2. Control de la dieta para alimentación de lombrices.	38
Tabla 3. Actividad de agua de las soluciones saturadas a tres temperaturas.....	48
Tabla 4. Concentración de sales para las isotermas de adsorción.....	49
Tabla 5. Registro de las condiciones de acondicionamiento para el crecimiento. ...	52
Tabla 6. Efecto del acondicionamiento y la alimentación en el crecimiento de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	55
Tabla 7. Reproductividad de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).	56
Tabla 8. Rendimiento de la obtención de harina de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	57
Tabla 9. Contenido nutricional de la harina de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	58
Tabla 10. Caracterización física de la harina de lombriz con NaCl.....	61
Tabla 11. Propiedades de flujo de la harina de lombriz	62
Tabla 12. Propiedades de flujo	63
Tabla 13. Análisis de imagen.....	64
Tabla 14. Tamaño de partícula y gráficos en 3D	65
Tabla 15. Valores de isotermas de adsorción.....	66

Índice de Figuras

Figura 1. Instalaciones del instituto tecnológico superior de Teziutlán.....	16
Figura 2. Clasificación de la estructura de las proteínas.....	23
Figura 3. Estructura básica de los aminoácidos.....	24
Figura 4. Anatomía interna de la lombriz.....	27
Figura 5. Diagrama actividad de agua – estabilidad del alimento.	31
Figura 6. Isotermas de adsorción	33
Figura 7. Diagrama de trabajo de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	35
Figura 8. Contenedor de lombrices rojas californiana (<i>Eisenia foetida</i>).	37
Figura 9. Metodología 1 para la obtención de harina de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).	39
Figura 10. Metodología 2 para la obtención de harina de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).	40
Figura 11. Comportamiento de parámetros (temperatura, humedad y pH) durante el crecimiento de lombriz.....	53
Figura 12 Capacidad de retención de agua en la muestra harina de lombriz congelada (HDLN.).....	59
Figura 13. Isotermas de adsorción de vapor de agua.....	67

Índice de Abreviaturas

CH: coeficiente de Hausner

CRA: capacidad de retención de agua

DA: densidad aparente

DE: densidad empacada

EF: *Eisenia foetida*

HDLC: harina de lombriz congelada

HDLN: harina de lombriz con NaCl

IAA: índice de absorción de agua

IC: índice de Carr

ISA: índice de solubilidad en agua

LA: lombrices adultas

LJ: lombrices jóvenes

LP: lombrices pequeñas

MPE: malnutrición proteinoenergética

ODS: objetivos de desarrollo sostenible

PH: poder de hinchamiento

SA: seguridad alimentaria

Capítulo I

Generalidades del Proyecto

1. Descripción de la Empresa u Organización y del Puesto o Área del Trabajo del Estudiante

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST/ Figura 1) es una institución de educación superior ubicada en el municipio de Teziutlán en el Estado de Puebla. Actualmente el ITST ofrece 8 licenciaturas y 2 maestrías que como resultado del esfuerzo para el cumplimiento de estándares de calidad educativa el instituto ha obtenido acreditaciones internacionales.

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán establece, implementa, mantiene y mejora continuamente su sistema de gestión de calidad de acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 9001:2015.

La presente investigación se desarrolló en el área de Ingeniería en Industrias Alimentarias.



Figura 1. Instalaciones del instituto tecnológico superior de Teziutlán (ITST, 2024).

1.2 Planteamiento del Problema

El incremento en la inseguridad alimentaria ha generado la necesidad de buscar soluciones que ayuden a incrementar la seguridad alimentaria y la disminución de la malnutrición proteinoenergética (MPE). Según, lo reportado por el INEGI en 2023 para la población que reside en el país era de 129 millones, colocando a México como el décimo país a nivel internacional, por lo que se ve afectada la crisis alimentaria debido a la demanda de alimentos. En cuanto a la desnutrición grave o extrema, presento un incremento debido a la pandemia por COVID-19.

En la actualidad las principales fuentes de matrices alimentarias con un contenido proteico considerable provienen de la explotación de la ganadería, siendo las carnes rojas y los productos lácteos las principales fuentes de proteína. Sin embargo, la demanda de estas matrices alimentarias provenientes de la ganadería sugiere una alta demanda por el incremento poblacional. Aunado a esto, según lo reportado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) refieren que el 3.7% de la población en México sufre de inseguridad alimentaria, pero si se añade la disminución en la cantidad y calidad de proteínas en los alimentos procesados que tienen una alta demanda por la sociedad, lo que provoca el incremento de la cifra al 26%. Lo que representa que una cuarta parte de la población (aproximadamente 33 millones de individuos) no tiene acceso a una seguridad alimentaria por el incremento económico en el precio de los víveres. Por otra parte, es importante mencionar el impacto ambiental que se genera por la alimentación, las amplias áreas de terreno para el forraje y los lugares de establecimiento que se precisa para cubrir las necesidades de la ganadería, siendo este un punto importante que se debe disminuir teniendo en cuenta que es parte de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030. Por ello, es importante considerar el efecto invernadero que produce la explotación del sector ganadero el cual en años posteriores tendrá una alta demanda debido al crecimiento de la tasa poblacional, el cual afectará a futuras generaciones. No menos importante es el desperdicio de alimentos por el sector agroindustrial y comercial que también tiene

un impacto ambiental perjudicial. Por lo anterior, el presente trabajo propone la caracterización de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*) con el objetivo de dar a conocer la viabilidad de su aplicación o uso como fuente no convencional de proteína.

1.2.1 Preguntas de Investigación

- ¿Por qué es importante la seguridad alimentaria?
- ¿Cuál es la viabilidad de la crianza de la *Eisenia foetida* en la región VI del estado de Puebla?
- ¿Cuál es la importancia de las harinas no convencionales como fuentes proteicas?
- ¿Por qué es importante la caracterización de las propiedades físicas, químicas y tecno-funcionales en las harinas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para su posible uso como fuente proteica no convencional.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones de crianza de lombriz roja californiana en la región VI del estado de Puebla.
- Estandarizar el método de sacrificio para la elaboración de harina de lombriz roja californiana.
- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y tecno-funcionales de la harina de *Eisenia foetida*.
- Determinar isotermas de adsorción de agua a 3 diferentes temperaturas de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

1.4 Justificación de la Investigación

La búsqueda de alternativas alimentarias sustentables que ayuden a contribuir a la seguridad alimentaria sugiere la investigación en las harinas no convencionales, las cuales se obtienen a partir de cereales, leguminosas, pescado, insectos y oligoquetos, entre otras especies. El presente estudio está enfocado en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) perteneciente a los oligoquetos, la cual según Hartenstein et al. (1979) se emplea, ampliamente en el proceso de vermicompostaje, debido a su alta tasa de conversión de materia orgánica en composta utilizable como fertilizante orgánico. Por otro lado, permite explotar el desperdicio de alimentos abundante dentro de los hogares, restaurantes, mercados regionales y municipales que provoca que los alimentos producidos y no consumidos incrementen su costo económico y tengan un impacto ambiental. La Federación, D. O. (2020) ha estimado un desperdicio anual de 20.4 millones de toneladas de alimentos en México, lo que representa el 34% de la producción nacional, de manera que la búsqueda de sistemas alimentarios sustentables en beneficio de futuras generaciones y la reducción del impacto ambiental por el sector agroalimentario recae en esta especie la cual se ha utilizado como recurso alternativo para la recuperación de suelos contaminados, principalmente con agroquímicos con un alto contenido de metales pesados o hidrocarburos aromáticos. Además, investigaciones sugieren que su alta tasa de reproductividad genera la biomasa adecuada para la obtención de harina no convencional con un alto contenido proteico para su aprovechamiento en el desarrollo de productos de interés alimentario, lo que aportaría a la disminución de la malnutrición proteinoenergética y la inseguridad alimentaria de la población en la región VI del estado de Puebla y con ello contribuir a la seguridad alimentaria y a los objetivos dos "hambre cero" y 13 "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos" de los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), por consiguiente coadyuvar a la necesidad de alimentos con un alto contenido proteico de fuentes más sustentables. En relación con la problemática de la inseguridad alimentaria que se incrementó debido a la pandemia

del COVID – 19 y con el buen estatus de la lombriz para la recuperación de la fertilidad de los suelos, a parte del aprovechamiento de la materia orgánica es importante caracterizar las propiedades físicas y químicas para generar información que ayude a verificar su viabilidad como fuente alternativa con un alto contenido proteico.

1.5 Hipótesis

Caracterizar mediante isotermas de adsorción de agua y propiedades físico-químicas la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) permite identificar su calidad y viabilidad para su aplicación en la industria alimentaria y/o biotecnológica.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Fundamentos Teóricos

2.1.1 Seguridad Alimentaria

El concepto de Seguridad Alimentaria (SA) se implementa en la década de los 70, considerando la producción y disponibilidad de alimentos a nivel internacional y nacional. En los años 80, se incorporó la idea del acceso tanto económico y físico. 10 años después, se añadió el concepto actual que requiere la inocuidad, así como, las preferencias culturales, llevando así a la reafirmación de la Seguridad Alimentaria como un derecho humano.

La FAO (2013) reportó que se alcanza una SA “cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana”. Para que la sociedad presente una SA, se deben de tener en cuenta tres pilares fundamentales (Friedrich, 2014):

Disponibilidad de alimentos: Significa que hay suficientes alimentos físicamente presentes para toda la población.

Acceso a los alimentos: Las personas pueden obtener los alimentos disponibles.

Utilización de los alimentos: Se refiere a la forma en que el cuerpo de las personas usa los alimentos que consume.

El desarrollo de productos pretende brindar una SA a la sociedad, por lo que en la presente investigación se centra en la caracterización de la harina de EF como fuente alternativa sustentable con la cantidad de proteínas de calidad.

2.2 Proteína

Las proteínas son macromoléculas, que cumplen diversas funciones en el cuerpo tales como estructura, transporte, motilidad, defensa, reconocimiento,

almacenamiento y la función catalítica que llevan a cabo las enzimas (Badui, 2016). Son vitales para la mayoría de los trabajos que realizan las células, además de ser fundamentales para mantener la función, estructura, regulación de los tejidos y órganos del cuerpo. Una proteína está formada por una o más cadenas largas plegadas de aminoácidos unidas mediante enlaces peptídicos también llamado polipéptido, cuyas secuencias están determinadas por la secuencia de ADN del gen que codifica la proteína, de esta manera se les puede clasificar en cuanto a su estructura (Figura 2); primaria (a), secundaria (b), terciaria (c) y cuaternaria (d) (Lehninger et al., 2005).

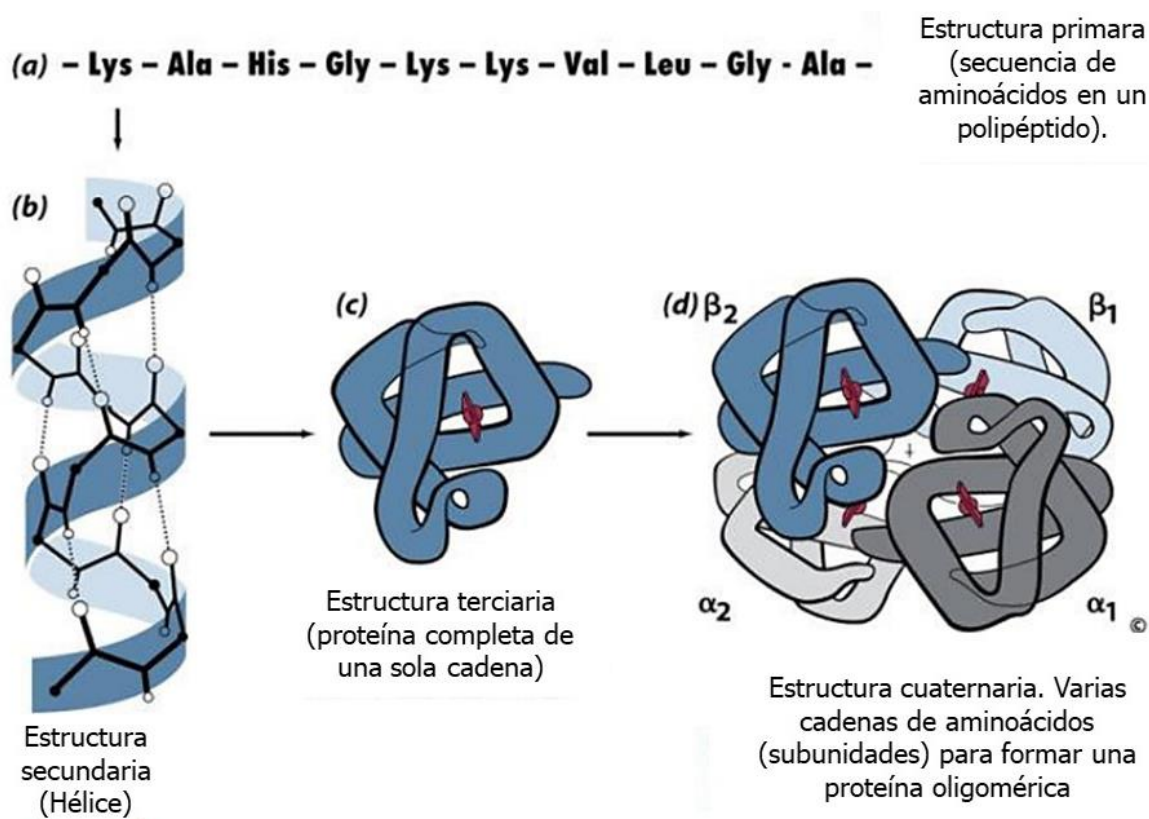


Figura 2. Clasificación de la estructura de las proteínas Moreno, S. (2013).

La relevancia de las proteínas en los sistemas alimentarios es importante considerar, debido a que poseen propiedades nutricionales, están compuestas por moléculas nitrogenadas que permiten conservar la estructura y el crecimiento de quien las consume. Asimismo, por sus propiedades tecno-funcionales pueden ser ingredientes

de productos alimenticios, además de que contribuyen a determinar la estructura y propiedades finales del alimento. Por lo tanto, las proteínas juegan un papel fundamental, siempre y cuando se ingieran en proporciones adecuadas y se combinen con otros elementos en la dieta. En cuanto a sus funciones estructurales, proporcionan la matriz para los tejidos óseo y conjuntivo que dan estructura y forma al organismo humano, por ende, actualmente el reto no es sólo la disponibilidad de proteínas, sino la calidad requerida con la cantidad necesaria de aminoácidos esenciales (Torun, 1988).

2.2.1 Aminoácidos

Las unidades básicas de la estructura química de las proteínas son los aminoácidos (Figura 3). En el código genético están codificados los veinte distintos aminoácidos también llamados residuos, estos constituyen los eslabones que conforman péptidos, así mismo, forman cadenas polipeptídicas y alcanzan altos pesos moleculares que se denominan proteína (Fennema et al., 2019).

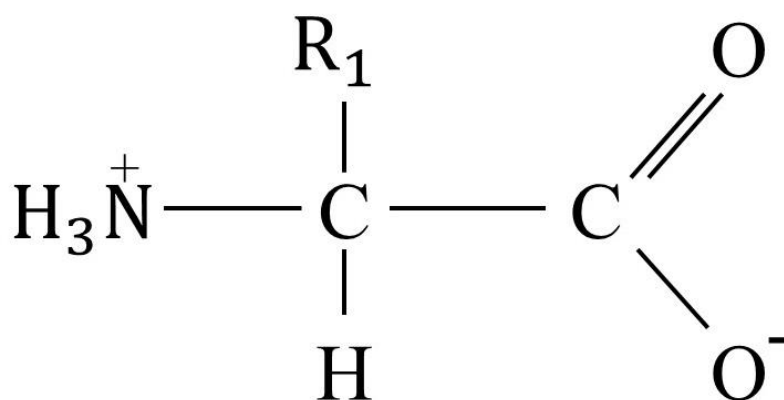


Figura 3. Estructura básica de los aminoácidos (Fennema et al., 2019).

El grupo amino está unido al carbono, contiguo al carboxilo unidos por un enlace covalente al carbono central, de donde proviene el nombre de α-aminoácido. Al carbono α también se unen un átomo de hidrógeno y la cadena lateral (R), de cuya naturaleza química se desprenden sus propiedades: carga neta, solubilidad,

reactividad química y potencial para formar puentes de hidrógeno, características de cada residuo cuando forma parte de un polipéptido (Badui, 2016).

La importancia de la funcionalidad de las proteínas radica en la cantidad de aminoácidos una vez que se digieren, de ahí que las matrices alimentarias que se ingieren en la dieta contengan los aminoácidos esenciales que el organismo no es capaz de sintetizar, por consiguiente, la búsqueda de proteínas provenientes de fuentes alternativas denominadas no convencionales ha tomado impulso en la industria alimentaria aunado al menor impacto ambiental para su producción. Dentro de las fuentes no convencionales se encuentran harinas vegetal provenientes de legumbres (lenteja, soya, habas, garbanzo, arveja, etc.) así como de animales procedente de insectos (chapulín, grillo, mosca soldado negra, etc.), de oligoquetos como la lombriz roja californiana y otras especies.

2.3 Fuentes de Harinas Convencionales

Desde siglos atrás, los cereales han sido la principal materia prima para la elaboración de harinas, la harina de trigo es la más utilizada en la panificación, debido a que contiene un alto contenido proteico que favorece en la producción de gluten (Flores, 2014). Sin embargo, es bien sabido que carece de aminoácidos esenciales como la lisina que es fundamental para los seres humanos. Además, el contenido de fibra de la harina es mínimo, como resultado del proceso de refinación empleado en el grano de trigo. De hecho, una posible respuesta a la deficiencia nutricional de la harina son las leguminosas que, si contienen lisina pero que carecen en metionina, aminoácido que, si se encuentra en los cereales, por ende, la viabilidad de obtener fuentes de harinas no convencionales que se puedan complementar con las fuentes de harinas convencionales ha despertado el interés de obtener fuentes proteicas de harinas no convencionales (Pérez Conesa et al., 2002). Por otra parte, Badui (2016) señala que para la nutrición de los niños la carne, la leche y el huevo son indispensables en su dieta, sin embargo en otros países, en especial los asiáticos, se consumen proteínas de fuentes anteriormente consideradas como “no

convencionales”; proteínas de soya y otras leguminosas importantes por su balance de aminoácidos indispensables, del mismo modo las harinas provenientes de insectos u oligoquetos han despertado el interés como alternativas de fuentes no convencionales por su alto contenido proteico.

2.4 Fuentes de Harinas no Convencionales

Actualmente, las investigaciones se enfocan en la búsqueda de fuentes proteicas alternativas sustentables que contengan un importante contenido nutricional para el organismo, que permita evadir enfermedades por carencia de nutrientes. Se han implementado nuevas alternativas como el uso de harinas animales con subproductos, como el avícola, sangre, huesos, carne, etc. (Castro-Bedriñana et al., 2020). Actualmente se trabaja en alternativas como el uso de harinas vegetales y de algunos granos, entre los que destaca la harina de soja, la cual tiene algunos inconvenientes en cuanto a su digestibilidad y factores antinutricionales en el organismo (Luna, 2006). Por su parte, las harinas a base de insectos también se están utilizando como las harinas de grillos, tenebrios, mosca soldado negra (Sánchez-Muros et al., 2014). En esta misma línea recientemente las harinas a base de gusanos anélidos u oligoquetos como fuentes proteicas de alta calidad similares a la harina de pescado, se han empleado en el sector acuícola con el objetivo de generar ingredientes más rentables, por lo que se ha considerado como una fuente alternativa de proteína (Musyoka et al., 2019). Este oligoqueto permite una digestibilidad mayor al 95% y contiene hasta un 60% de proteínas de calidad y totalidad de aminoácidos esenciales en base seca, los cuales en las harinas vegetales son deficientes como lisina, arginina, metionina, treonina y valina. De hecho, también se ha descrito que contiene ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y ácido linolénico, además se han encontrado macro y micronutrientes como cobre, hierro, manganeso, zinc y fósforo en cantidades significativas (Pérez Corria et al., 2019).

2.5 Lombriz Roja Californiana

Las lombrices son un elemento principal de los ecosistemas terrestres. *Eisenia foetida* es una especie de lombriz de color rojo oscuro o violeta rojizo, con un gradiente antero-posterior y dorso-ventral, cuyo cuerpo está dividido entre 80-100 anillos o metamerismos, que son visibles a simple vista (Figura 4).

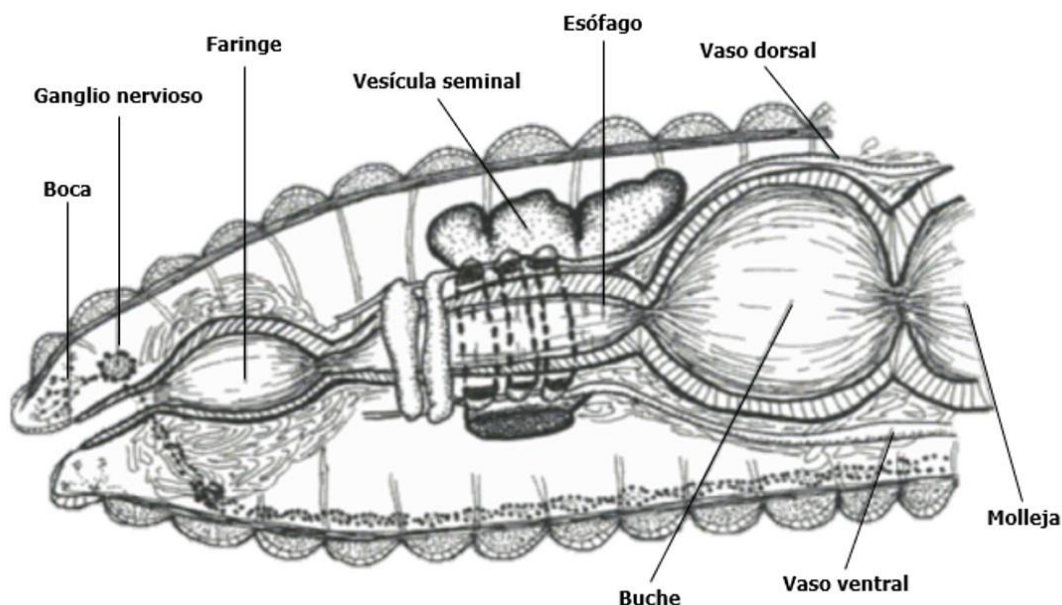


Figura 4. Anatomía interna de la lombriz (Padilla, F. 2003).

Alimentación: cada individuo ingiere diariamente una cantidad de material orgánico equivalente a su propio peso aproximadamente 1 g en individuos adultos. Su alimentación se basa en materia orgánica, el alimento estará listo una vez que su pH se encuentre entre 6.0 – 8.5, que no presente olores desagradables (Singh et al., 2018).

Reproducción: la lombriz es hermafrodita. La cópula se realiza cada 7-10 días. Después de 14 a 21 días de incubación, las pequeñas lombrices emergen de la

cápsula (Riascos-Vallejos et al., 2022). Según Navas (2003) la capacidad de reproducción es: 1,000,000 de lombrices al término de un año se convierten en 12,000, 000 y estas 144,000,000 en dos años.

2.5.1 Condiciones Óptimas Para el Desarrollo de la Lombriz

Los parámetros que se toman en cuenta para mantener condiciones adecuadas para las lombrices son:

- **Humedad:** la humedad requerida es del 70% que permita el deslizamiento del gusano a través del material y facilite la ingestión del alimento. Si la humedad no es adecuada puede ralentizar el desarrollo y alterar la mortalidad de la lombriz. Las lombrices consumen el alimento chupándolo. Por lo tanto, la falta de humedad les imposibilita dicha operación, así como el exceso de humedad origina empapamiento y una oxigenación deficiente (Kostecka et al., 2022)
- **Temperatura:** la temperatura para las lombrices oscila entre 10-35 °C; siendo la óptima los 25 °C. En épocas de verano, los riegos serán más frecuentes, además de mantener los lechos sin maleza (hierbas y plagas) y así evitar que las lombrices abandonen el hábitat en busca de lugares más frescos. Los cambios bruscos de temperatura ralentizan su reproductividad y temperaturas inferiores a 10 °C alteran su mortalidad (Kostecka et al., 2022).
- **pH:** El pH óptimo es 6-8 (Riascos-Vallejos et al., 2022).
- **Riego:** el sistema de riego se aplica por aspersión y manual (Riascos-Vallejos et al., 2022).

2.5.2 Impacto Ambiental de la Lumbricultura

La lumbricultura es la crianza de poblaciones de lombrices, el cual es un proceso asequible que permite aprovechar residuos biodegradables (restos orgánicos) para producir fertilizantes, abono y pesticidas de origen orgánico y lombrices.

La EF es la más utilizada en lombricultura, pues es capaz de convertir casi cualquier tipo de desecho orgánico en un producto final denominado humus, abono orgánico con características que permiten recuperar la fertilidad del suelo y mejorar su productividad (Rincones et al. 2023).

La lombricultura consta de una serie de actividades, desde una mera afición (humus para jardinera, floricultura, parques; lombrices para la pesca, acuarismo, gallineros) hasta las de índole comercial (producción de humus o lombricomposta fertilizante, expansión de cultivos, alimentación animal, tratamiento de residuos orgánicos, industriales, agrícolas, urbanos, etc.), sin olvidar la importancia creciente de las lombrices como animales de laboratorio e investigaciones respecto de concentraciones de poluentes y tóxicos en suelos (Gupta & Garg, 2017). El uso de la lombriz roja californiana ha escalado y hoy en día tiene un mayor impacto en la sociedad como una fuente alternativa de proteína más sustentable en comparación a otras fuentes de proteína, por ejemplo, las que se obtienen de productos derivados de la ganadería (carnes rojas, leche, huevos), así como, las provenientes de cereales y oleaginosas.

2.6 Propiedades Funcionales de la Harina

Las nuevas harinas no convencionales para la reformulación de productos de interés alimentario, como la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) tienen que ser caracterizadas conforme a sus propiedades tecno-funcionales, físicas, químicas y microbiológicas, que permitan el control durante su manipulación y en el proceso de la obtención y mantenimiento de las condiciones de textura y estructura que se requieren en el producto final. Por otra parte, la capacidad de retención de agua (CRA) es importante para la determinación de una textura suave, mientras que la capacidad de absorción de grasa (CAG) la cual afecta la sensación en boca, el sabor y aroma. También es importante conocer su capacidad emulsionante, espumante y gelificante que permite determinar las aplicaciones de la harina en la industria alimentaria. La composición química (fundamentalmente contenido y tipo de

proteínas y carbohidratos), el pH o el tamaño de partícula influyen en estas propiedades tecno-funcionales (Musyoka et al., 2019).

La funcionalidad de estas propiedades es dependiente de las condiciones de almacenamiento, transporte y envasado, en donde los alimentos se encuentran expuestos a condiciones diferentes (humedad, temperatura) que pueden modificar su microestructura, lo que permite que el alimento sea susceptible a un estado perecedero.

2.7 Importancia del Agua en los Alimentos

El contenido de agua en un alimento es toda el agua de manera global. Sin embargo, en los tejidos animal y vegetal, el agua no está uniformemente distribuida, por ejemplo, debido a los complejos hidratados que se producen con proteínas, a los carbohidratos y otros, a las diversas estructuras internas propias de cada tejido, a los microcapilares que se forman, a su incompatibilidad con los lípidos que no permiten su presencia (Badui, 2016), por tal motivo una de las medidas principales es el control de la humedad y la manera de cómo está interactúa en el deterioro de su estructura y composición química, por ende la remoción de agua es clave para la estabilidad de los alimentos.

Una forma de evaluar el estado de interacción del agua con el alimento y su potencial para participar en reacciones de deterioro (Figura 5), es la actividad de agua (a_w) que es la presión parcial de vapor de agua en equilibrio, a un determinado contenido de humedad y temperatura constante (Labuza et al., 1972). Una isoterma de sorción de vapor de agua representa la variación del contenido de agua en función de la actividad de agua y en la mayoría de los alimentos se puede observar un comportamiento de tipo sigmoideo (Mathlouthi, 2001).

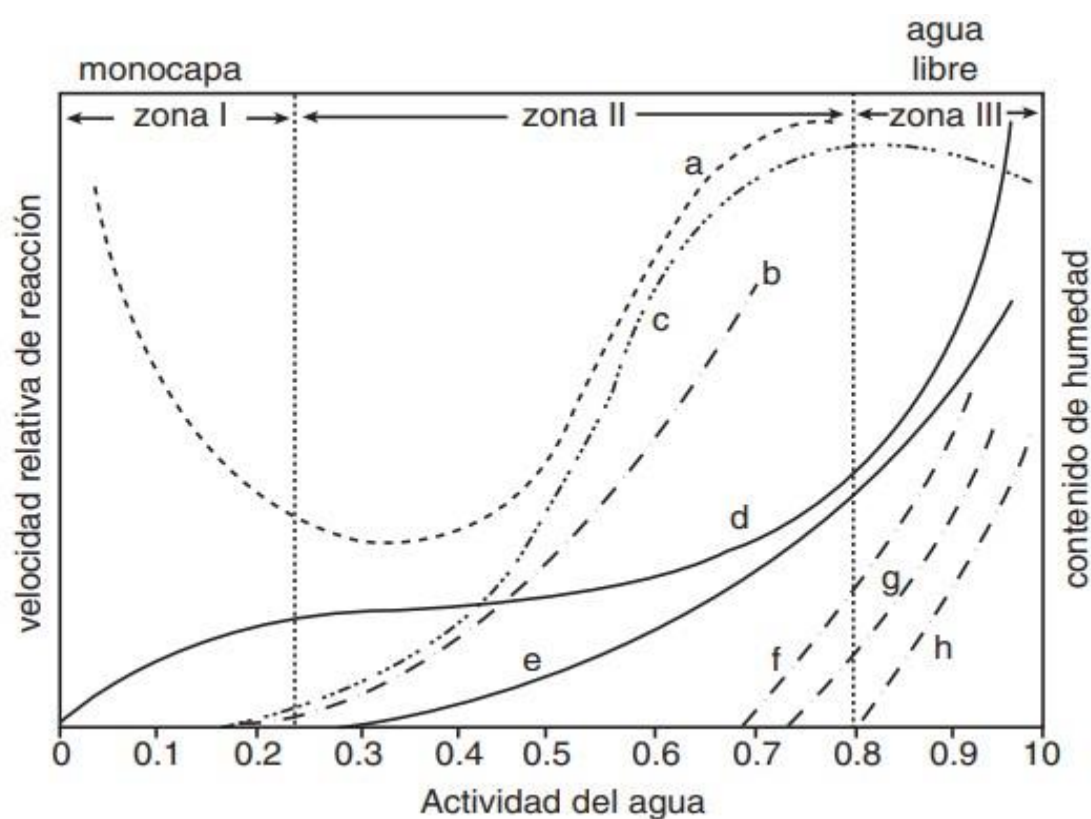


Figura 5. Diagrama actividad de agua – estabilidad del alimento (Labuza et al 1972).

La actividad de agua es una propiedad intrínseca y se relaciona de manera no lineal con el contenido de humedad mediante las curvas o isoterms de adsorción y desorción (Badui, 2016). Las isoterms de adsorción y desorción sufren un fenómeno llamado histéresis, en el cual la humedad en equilibrio para una actividad de agua es mayor para la desorción que para la adsorción.

2.7.1 Isotermas de Adsorción

La isoterma de adsorción del agua es una técnica adecuada para analizar el grado de interacción del agua con el sustrato. Normalmente se divide en tres rangos en función de la actividad de agua (a_w): agua fuertemente ligada correspondiente a una a_w de 0.2-0.3 ó inferior, agua moderadamente ligada ($a_w = 0.3-0.7$) y agua poco ligada semejante a una a_w de 0.7-0.8 y superior (Chirife et al., 2020). Las isoterms

de adsorción se construyen mediante el método de readsorción (adsorción), donde un material alimenticio completamente seco (desorción) se incuban en un microambiente con temperaturas controladas a una temperatura constante. Normalmente se utilizan soluciones de sales saturadas, para crear varias atmósferas con distintas humedades al interior del microambiente (Martínez et al., 1998).

Las isothermas de adsorción es la relación entre la a_w y el contenido de humedad (g de agua/g de materia seca) en equilibrio para un material de interés alimentario a temperatura y presión constantes (Chirife et al., 2020). La mayoría de materiales de las matrices alimentarias exhiben isothermas de adsorción de tipo sigmoidal, que se puede dividir en tres regiones; el agua de la región I no se congela a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, por tanto, no está disponible para reacciones químicas. El agua en la región II también no se puede congelar, pero es más viable facilitar su movilidad que en la región I, de manera que puede iniciar transición vítrea-gomosa de las matrices alimentarias (Labuza et al., 2020). En cuanto al contenido de agua proporcionado al extremo alto de la región II y más allá, la interacción y movilidad del agua favorece los cambios físicos, químicos y microbiológicos que desfavorecen la estabilidad de los alimentos (Martínez et al., 1998).

Los tipos de isothermas de adsorción teniendo en cuenta a Brunauer et al. (1940), quien realizó una revisión para establecer cinco tipos de isothermas de adsorción (Figura 6). La isoterma tipo I está relacionada al fenómeno de quimisorción que ocurre en una sola capa, es decir, en los puntos activos de la superficie. Por otra parte, en las isothermas de adsorción de agua en alimentos las isothermas tipo II y III son las más frecuentes en alimentos no porosos, sobre todo el tipo I. Los tipos IV y V compete a isothermas de materiales porosos, en donde la meseta de estas las curvas están asociadas a la saturación capilar.

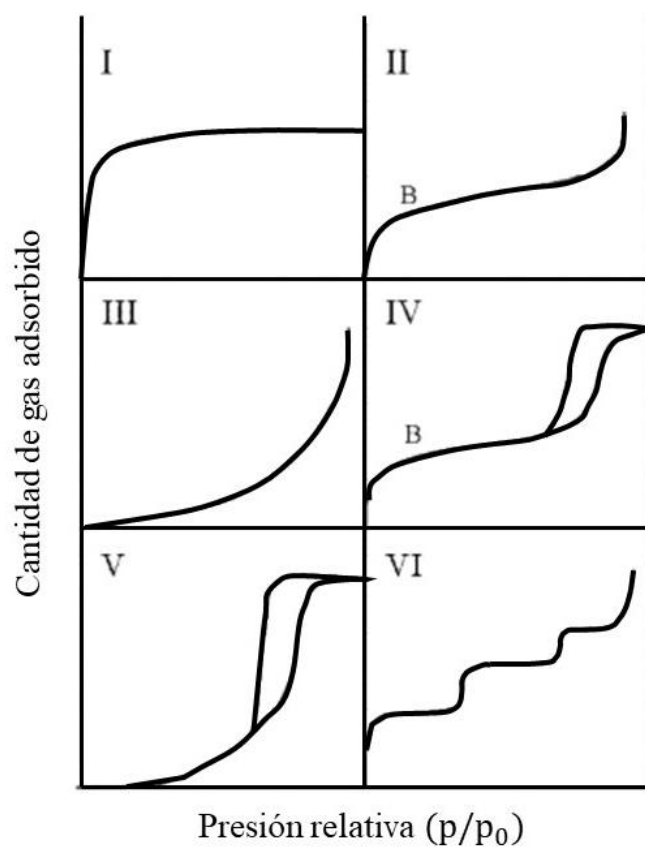


Figura 6. Isothermas de adsorción Zubieta, (2010).

Capítulo III

Desarrollo y Metodología

3.1 Procedimiento y Descripción de las Actividades Realizadas

3.1.1 Desarrollo Experimental

Una vez obtenidas las lombrices, el desarrollo experimental consistió en verificar la viabilidad de la crianza de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*), en la región VI del estado de Puebla, de manera que el desarrollo consistió en 3 etapas: acondicionamiento, elaboración de la harina y caracterización (Figura 7).

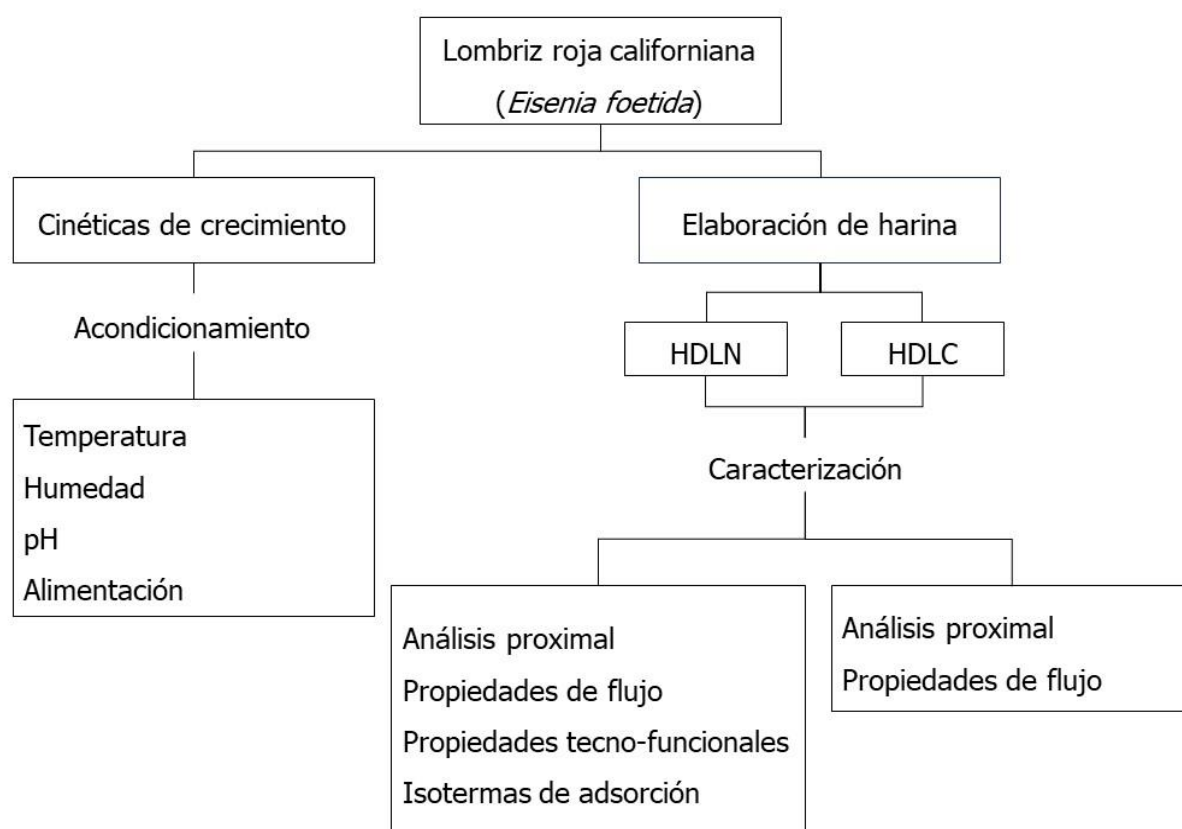


Figura 7. Diagrama de trabajo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

HDLN: harina de lombriz con NaCl; HDLC: harina de lombriz congelada

3.1.2 Obtención de la Lombriz Roja Californiana.

Las lombrices fueron donadas por la Universidad Tecnológica de Puebla. Se seleccionaron de manera aleatoria y al azar dentro de un grupo de lombrices en estado adulto (3 meses), con una longitud y peso promedio de 8-10 cm y 0.7-0.9 g, identificadas por el clitelo desarrollado (Alcívar-Cedeño et al., 2016).

3.1.3 Acondicionamiento

Para su adaptación a la región se acondicionaron un mes. Posteriormente, se almacenaron con compostaje de desechos orgánicos provenientes de los mercados municipales del municipio de Teziutlán del estado de Puebla. Se controló la temperatura (20-25 °C), humedad (70-80%) y pH (6.5 – 7.5) para garantizar el óptimo crecimiento de las lombrices (Riascos-Vallejos et al., 2022; Kostecka et al., 2022; Rincones et al., 2023).

3.1.4 Criterio de Crianza y Climatización

Una vez adaptadas las lombrices, se realizaron cinéticas de crecimiento para lo cual se utilizaron recipientes con dimensiones de 70 x 36 x 20 cm y con una capacidad de 20 kg (Figura 8). Se mantuvo una temperatura de 20-25 °C y una humedad del 70-80%. Para el proceso de las cinéticas se utilizó la siguiente metodología:

1. Se colocó en el fondo de la caja una maya que permitió dejar fluir el lixiviado.
2. Posteriormente una capa verde (hojas, pasto) o hojarasca seca.
3. En la siguiente capa se colocó tierra negra que permitió a la lombriz sentirse dentro de su habitat.
4. Se colocaron las lombrices dispersas en toda la amplitud del lombricultor.
5. Posteriormente se colocaron desechos orgánicos, teniendo en cuenta las condiciones de pH y humedad.

6. Finalmente, se colocó una capa de serrín que permitió mantener humedad al interior.

7. Se cuidó la acidez (pH 6.5-7.5) de la materia orgánica para no afectar el establecimiento y reproducción de la lombriz.



Figura 8. Contenedor de lombrices rojas californiana (*Eisenia foetida*). Fuente: obtenida por autoría propia.

3.1.5 Cinéticas de Acondicionamiento

Para el control del crecimiento, se realizó el conteo de las lombrices el día 0 (inicial) y se clasificaron en lombrices como: pequeñas, jóvenes y adultas. Para esta clasificación se consideró su estado morfológico (longitud y peso) como se muestra en la Tabla 1, posteriormente se realizó un conteo a los 45, 90 y 120 días.

Tabla 1. Etapa de crecimiento de lombriz roja californiana mediante parámetros morfológicos. Día 0 (inicial)

Etapa de crecimiento	Parámetro morfológico	
	Longitud (cm)	Peso (g)
LP	3.7 ± 0.49	0.2 ± 0.05
LJ	5.5 ± 0.51	0.4 ± 0.05
LA	9.6 ± 0.35	0.6 ± 0.08

Se reportó el promedio ± desviación estándar de las lombrices insertadas en el día 0 (n=30). LP: lombrices pequeñas; LJ: lombrices jóvenes; LA: lombrices adultas.

Una vez acondicionadas para el control de temperatura, humedad y pH se realizó un monitoreo cada tercer día. El control de la dieta para su alimentación se basó en compostas previamente tratadas en distintos porcentajes como se muestra en la Tabla 2, con el fin de satisfacer ciertas proporciones de minerales adecuados para su alimentación. Es importante considerar que el sustrato requiere un pH en un intervalo de 6-8, además de que la humedad debe estar entre el 70-80% y este debe estar preferiblemente blando para facilitar la ingesta a las lombrices.

Tabla 2. Control de la dieta para alimentación de lombrices.

Cantidad sugerida (%)	Aporte de minerales	Alimentos
50	Potasio	Plátano, aguacate, almendras y papa.
20	Nitrógeno	Manzanas, papaya y melón.
20	Microelementos	Legumbres, cereales, chayotes, fresas y nueces.
10	Calcio	Cáscaras de huevo

Nota: En la Tabla 2 los alimentos como: almendras, papa, chayotes y nueces se adicionaron en menor cantidad.

3.2 Harina de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*).

Para la elaboración de la harina a partir de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se emplearon dos metodologías, la primera consistió en shock osmótico en

soluciones de cloruro de sodio (NaCl) en distintas concentraciones (Figura 9). A partir de esta sección la harina de lombriz tratada con NaCl se mencionará como HDLN.

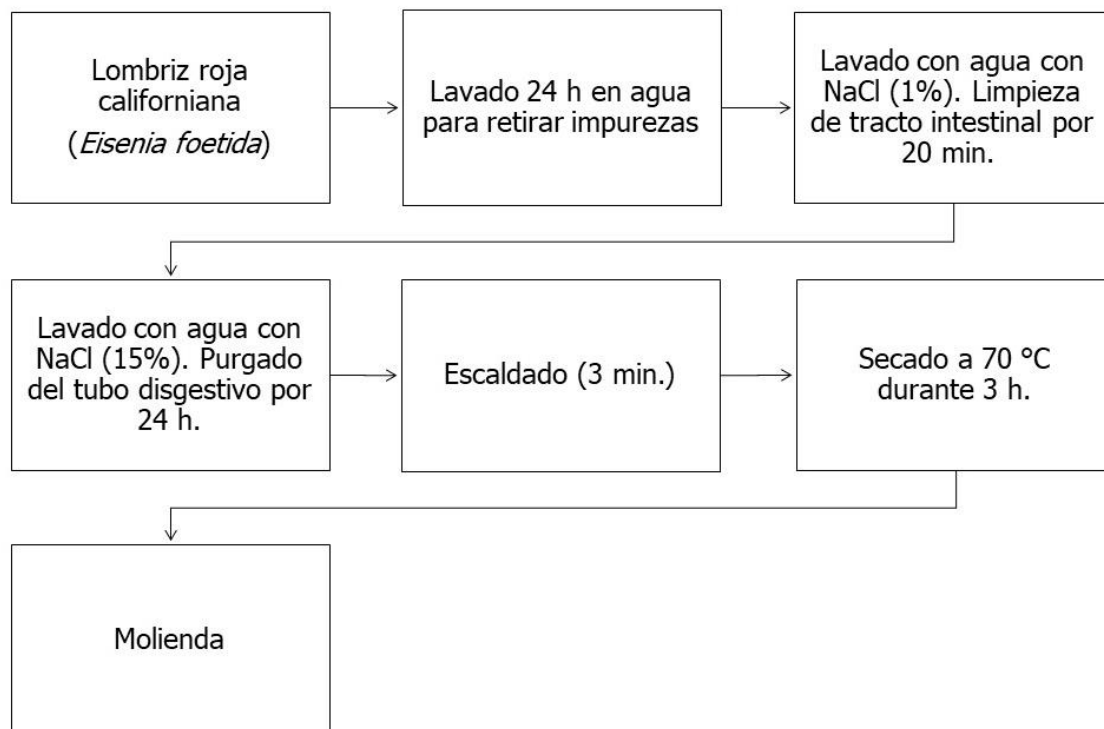


Figura 9. Metodología 1 para la obtención de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Para la segunda metodología se utilizó una solución con NaCl y posteriormente el sacrificio que se realizó por congelación a la temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 10). A partir de esta sección la harina de lombriz congelada se mencionará como HDLC.

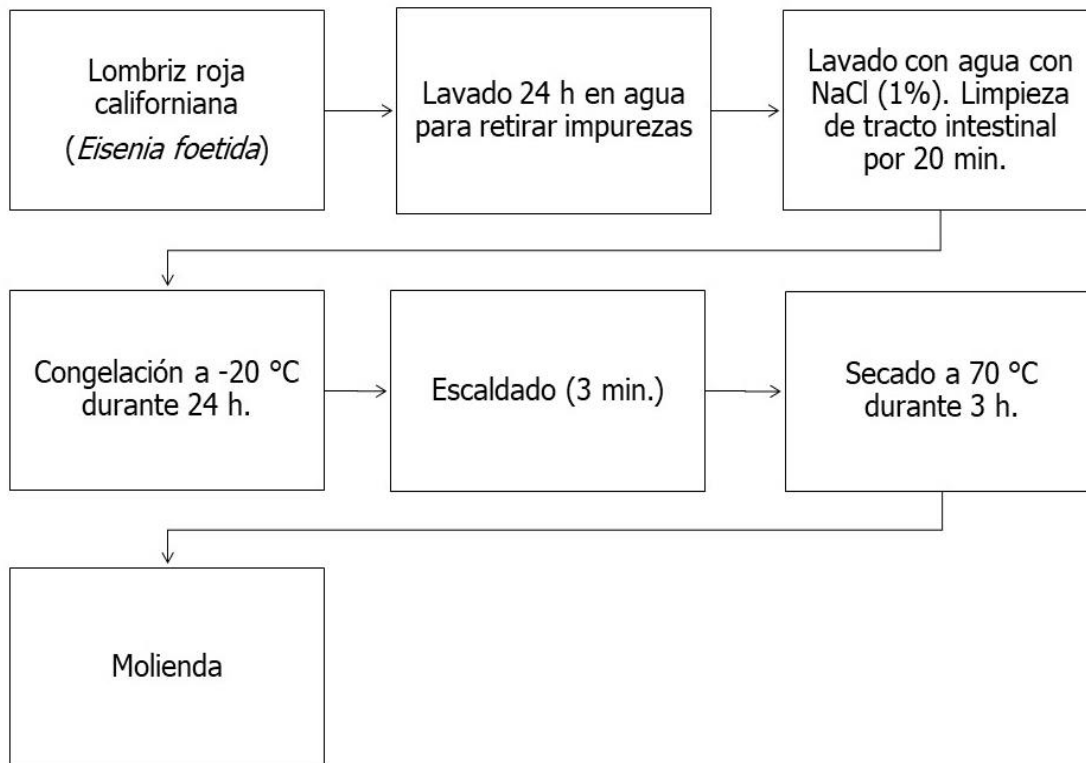


Figura 10. Metodología 2 para la obtención de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

3.3 Análisis Químico-proximal

3.3.1 Determinación de Humedad

El contenido de humedad se determinó de acuerdo con el método reportado por la AOAC (2000). Se realizó en un horno de secado (Model 20 Lab Oven), primero se colocó 1 g de muestra en una charola de papel aluminio previamente puesta a peso constante a una temperatura de 110 ± 1 °C durante 24 h. posteriormente se colocaron en un desecador y se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se registra el peso.

El porcentaje de humedad se calculó de acuerdo con la Ecuación 1.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Ecuación 1

Dónde: P_i = peso inicial (g); P_f = peso final (g).

3.3.2 Determinación de Cenizas

La determinación de cenizas se realizó a través del método de calcinación propuesta por Sigüas (2014), con modificaciones en los tiempos de calcinación. El método consistió en poner a peso constante los crisoles durante 24 h en el horno de secado a 110 ± 1 °C, dejar enfriar el crisol en un desecador hasta temperatura ambiente, después se colocó 1 g de muestra, se preincinera la muestra en una parrilla de calentamiento hasta que no desprenda humo y finalmente se calcina en la mufla a una temperatura de 550 a 600 °C durante 7 h, posteriormente la muestra calcinada se deja enfriar a temperatura ambiente en un desecador y se registra el peso.

El contenido de cenizas se calculó de acuerdo con la Ecuación 2.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{P - p}{M} * 100$$

Ecuación 2

Dónde: P = peso del crisol con la muestra (g); p = peso del crisol vacío (g); M = muestra (g).

3.3.3 Determinación de Grasa (método soxhlet).

La determinación se realizó con una extracción semicontinua aplicando un solvente orgánico por el método descrito por Sigüas (2014). Se colocó 1 g de muestra en un papel filtro el cual se introdujo en el sifón. Se utilizó un matraz balón de fondo plano previamente puesto a peso constante que se colocó en la parte debajo del sifón, luego se vierte el solvente hasta que recircule y llegue al matraz. A continuación, se colocó el refrigerante en la parte superior del sifón. El equipo es puesto sobre una parrilla de calefacción sujetado a un soporte universal durante 4 h, posteriormente

el solvente se recupera en un rotavapor (BUCHI, R-100). Por último, el matraz es secado a 110 ± 1 °C durante 1 h, el cual se deja enfriar en un desecador a temperatura ambiente y se registra el peso.

El % de grasa se determinó mediante la Ecuación 3.

$$\% \text{ de grasa} = \frac{B_g - B_v}{M} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: B_g = balón con grasa; B_v = balón vacío; M = peso muestra.

3.3.4 Determinación de Proteína (método Micro Kjeldahl)

Para el porcentaje de proteína se determina la materia nitrogenada disponible, de manera que el método consiste en dos pasos, 1) la descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado y 2) el registro de amoníaco contenido de las muestras. El método consta de tres etapas 1) digestión, 2) destilación y 3) titulación. Se pesaron 20 mg de harina y enseguida se vertió a un tubo de ensaye del equipo donde se les adiciono 5 mL de H_2SO_4 concentrado y una perla catalizadora de Cu (3.5 g), adicionalmente se preparó un blanco. El tubo de ensaye se colocó en digestión durante 30 min a una temperatura de 420 °C, pasado el tiempo se dejó enfriar para después colocarse en destilación, adicionalmente en un matraz de 250 mL se colocó 100 μ L de indicador Wesselow para el viraje. El tubo de ensaye, en el equipo se hace un lavado con 30 mL de NaOH 40% y 30 mL de H_3BO_4 4%, como resultado de la reacción se formó NH_4H_2BO . Finalmente, la solución que viro en el matraz se tituló en un micro titulador con HCl 0.1 N hasta alcanzar un viraje de azul turquesa sin pasar al tono morado, por último, se registró el gasto para posteriormente realizar los cálculos.

El porcentaje de proteína (%) se determinó mediante la Ecuación 4.

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{V \times N \times PM(14.007)}{m} \times 100 \%$$

Ecuación 4

Dónde: V= mL de HCl gastado; N= normalidad de la solución valorada de HCl; PM= Peso molecular del nitrógeno (14.007); m= peso de la muestra (mg).

3.4 Propiedades Tecno-funcionales

3.4.1 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó por medio del método propuesto por Sosulski (1962) y modificado por Abbey & Ibeth (1988) con modificaciones en la fuerza centrífuga. Se colocaron 1.2 g de muestra en 12 mL de agua destilada a 30, 60 y 90 °C. Posteriormente se agitó en un vórtex durante 15 s, después se tomaron 10 g de la disolución y se transfirieron a un tubo de falcón previamente pesado. La suspensión se centrifugó a una velocidad de 3500 rpm por 30 min. El agua libre (sobrenadante) fue removida y se pesó el tubo de centrifuga con el precipitado.

La capacidad de retención de agua se calculó con la Ecuación 5.

$$CRA = \frac{\text{Agua en la muestra} - \text{Agua removida}}{\text{Masa de la muestra}} \times 100$$

Ecuación 5

3.4.2 Determinación de Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad de Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)

Para la determinación de índice de solubilidad, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento se utilizó el método propuesto por Anderson et al. (1969) con modificaciones en la fuerza centrífuga. Se colocaron 1.25 g de muestra en 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C en un tubo falcón. Posteriormente el tubo falcón se colocó en agua a 60 °C durante 30 min; transcurridos 10 min de haber iniciado

el calentamiento se agito la suspensión en un vórtex durante 15 s, después se centrifugó a 3500 rpm durante 30 min.

El sobrenadante se vertió en una probeta que permitió medir el volumen, enseguida 10 mL del sobrenadante fueron colocados en un vaso de precipitado de 100 mL (previamente pesado), el sobrenadante se secó a 70 °C durante 24 h. Finalmente pesó el tubo falcón con el gel y el vaso de precipitado con los insolubles.

Para realizar los cálculos se utilizaron las Ecuaciones 4, 5 y 6.

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g) bs}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{peso muestra (g) bs}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g) bs} - \text{peso solubles (g)}} \quad \text{Ecuación 8}$$

3.4.3 Actividad de Agua

Se determinó el actividad de agua (a_w) con un equipo modelo MS2100 de la marca Tlead. Se colocó la muestra en el sensor y se esperó por un tiempo aproximado de 7 min a que llegará al equilibrio, finalmente se mostró la lectura de a_w de las muestras evaluadas.

3.5 Propiedades de Flujo de la Harina

3.5.1 Densidad Aparente (DA)

La DA se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Porras-Saavedra et al. (2014). El método consiste en pesar una probeta de 10 mL y registrar el peso,

enseguida se tara la balanza y se agrega muestra con una espátula hasta cubrir el volumen total, es importante registrar el nuevo peso obtenido para posteriormente realizar los cálculos.

La densidad aparente se calculó a partir de la Ecuación 9.

$$DA = \frac{g}{mL} \quad \text{Ecuación 9}$$

3.5.2 Densidad Empacada (DE)

La DE se realizó de acuerdo con la metodología reportada por Jumah et al. (2000). Con la probeta previamente usada para la densidad aparente, el procedimiento consta de dejar caer 100 veces de una altura aproximada de 5 cm la probeta con la muestra sobre una superficie sólida. Posteriormente se tomó en cuenta la misma masa registrada en DA y se modificó el volumen por el que se obtiene en la probeta el cual se sustituye en la Ecuación 9 para realizar los cálculos.

3.5.3 Índice de Carr (IC)

El IC se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Shah et al. (2008). Con los resultados obtenidos para DA y DE se realizan los cálculos utilizando la Ecuación 10.

$$IC = \left(\frac{DE-DA}{DE} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

3.5.4 Coeficiente de Hausner (CH)

Se calculó a través de la relación del cociente de densidad empacada y densidad aparente (Shah et al., 2008). Para lo cual se utilizó la Ecuación 11.

$$CH = \frac{DA}{DE}$$

Ecuación 11

3.5.5 Ángulo de Reposo

El ángulo de reposo se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Moreira et al. (2009). El método consiste en colocar dos soportes universales a cierta distancia (30 cm, aproximadamente); una vez colocados estos, se fija una marca en cada uno a una altura aproximada de 5 cm para, posteriormente, verter la harina con ayuda de un embudo a la altura marcada. Finalmente, se mide la altura y diámetro del montículo formado.

Los cálculos del ángulo de reposo se realizaron con la Ecuación 12.

$$\text{Angulo de reposo } (\theta) = \frac{h}{r}$$

Ecuación 12

3.5.6 Microscopia Electrónica de Barrido Ambiental (ESEM)

Para la adquisición de la imagen se utilizó un microscopio electrónico de barrido ambiental (Carl Zeiss EVO LS10, Jena, Germany). Con una magnitud de 500x, detector NTS BSD y EHT de 30 kV.

3.5.7 Análisis Digital de Imagen

Para el análisis de textura se utilizó el software ImageJ v.1.50d (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA). Se utilizó para calcular los parámetros de: tamaño de partícula, segundo momento angular, contraste, correlación momento inverso de diferencia y entropía.

3.6 Isotermas de Adsorción

Para la elaboración de las isotermas de adsorción, se utilizó el método gravimétrico continuo propuesto por Lang et al. (1981). Se colocó 1 g de muestra en charolas de

aluminio previamente puestas a peso constante, posteriormente se colocaron en un desecador al vacío que contenía pentóxido de fósforo (P_2O_5) las muestras se mantuvieron en el desecador durante 7 días, tiempo en el que alcanzaron el equilibrio. Una vez transcurrido el tiempo, las muestras fueron colocadas por duplicado a las temperaturas de 20, 25 y 30 °C en las celdas equilibradas previamente ajustadas a diferentes actividades de agua (Tabla 3), las muestras se pesaron cada tercer día hasta llegar al equilibrio. Para retirar las muestras se consideró que se encontraban las muestras en equilibrio cuando existe diferencia de peso entre dos mediciones de 1 mg/g de sólidos.

Tabla 3. Actividad de agua de las soluciones saturadas a tres temperaturas.

Compuesto químico	Siglas	a_w		
		20 (°C)	25 (°C)	30 (°C)
Pentóxido de fosforo	P ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000
Cloruro de litio	LiCl	0.121	0.115	0.108
Acetato de potasio	CH ₃ COK	0.262	0.234	0.215
Cloruro de magnesio	MgCl ₂	0.340	0.329	0.318
Carbonato de potasio	K ₂ CO ₃	0.450	0.443	0.436
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂	0.602	0.536	0.515
Nitrito de sodio	NaNO ₃	0.693	0.765	0.628
Cloruro de sodio	NaCl	0.782	0.846	0.743
Cloruro de potasio	KCl	0.892	0.846	0.821

La elaboración de concentraciones de las sales se realizó según lo reportado por Simatos et al. (2012) en la Tabla 4. Las concentraciones de as sales saturadas fueron ajustadas a 20 mL.

Tabla 4. Concentración de sales para las isotermas de adsorción.

Compuesto químico	Siglas	HR (%)	Sal (g)	Agua (mL)
Cloruro de litio	LiCl	11.5	150	85
Acetato de potasio	CH ₃ COK	22.60	200	65
Cloruro de magnesio	MgCl ₂	32.73	200	25
Carbonato de potasio	K ₂ CO ₃	43.80	200	90
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂	52.86	200	30
Bromuro de sodio	NaBr	57.70	200	80
Cloruro de estroncio	SrCl	70.83	200	50
Cloruro de sodio	NaCl	75.32	200	60
Cloruro de potasio	KCl	84.32	200	80
Cloruro de bario	BaCl ₂	90.26	250	70

3.7 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico para las distintas harinas obtenidas (HDLN, HDLC) mediante la implementación del Software Kaleida Graph V4. En las muestras se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con un 95% de confiabilidad esto con la finalidad de determinar para cada propiedad analizada, las diferencias estadísticamente significativas.

Capítulo IV

Resultados

Las matrices con un alto contenido proteico de calidad son importantes en la dieta de la sociedad para disminuir la inseguridad alimentaria, sin embargo, también es importante conocer como estas se comportan durante los procesos de elaboración de productos de interés alimentario, teniendo en cuenta la estabilidad que estos presentan durante su envasado, distribución y almacenamiento.

4.1 Efecto de las Variables Ambientales en el Acondicionamiento y Crecimiento.

El municipio de Teziutlán se localiza en la parte nororiental del estado de Puebla, México; en donde se pueden identificar tres climas: clima templado húmedo con lluvias en verano el cual, se presenta en una pequeña área del extremo Sur del Municipio; clima templado húmedo con lluvias todo el año (franja latitudinal al centro y sur del Municipio) y clima semicálido húmedo, con abundantes lluvias todo el año en las regiones colindantes al norte con los municipios de Hueyapan y Hueytamalco (INEGI, 2009). Por lo que, mantener el control de la temperatura es de suma importancia para la crianza de la lombriz roja californiana.

Para el control de temperatura, humedad y pH se tomó en cuenta la bitácora de acondicionamiento, en donde se llevó el registro de las condiciones de acondicionamiento para el crecimiento teniendo en cuenta como puntos de control el promedio a los días 45, 90 y 120, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio realizado, el efecto del contenedor empleado para el acondicionamiento de la lombriz permitió obtener una estabilidad para el control de humedad, temperatura y pH como se puede observar en la Figura 11, de manera que permite generar un hábitat adecuado para las lombrices adultas y el desarrollo de las lombrices pequeñas y jóvenes.

Tabla 5. Registro de las condiciones de acondicionamiento para el crecimiento.

Ciclo de vida (Días)	Variables ambientales					
	T (°C)	H (%)	pH	T (°C)	H (%)	pH
	Primer registro 10 (h)			Segundo registro 17 (h)		
45	25 ± 1.54 ^a	71 ± 6.82 ^a	7 ± 0.43 ^a	22 ± 1.35 ^b	72 ± 6.49 ^a	7 ± 0.43 ^a
90	25 ± 1.41 ^a	73 ± 5.89 ^a	7 ± 0.41 ^a	23 ± 1.64 ^b	72 ± 2.81 ^a	7 ± 0.41 ^a
120	25 ± 0.99 ^a	75 ± 5.80 ^a	7 ± 0.33 ^a	22 ± 1.59 ^b	71 ± 0.80 ^a	7 ± 0.33 ^a

Se reportó el promedio ± desviación estándar de las condiciones de acondicionamiento a los 45 días (n=22), 90 días (n=24) y 120 días (n=16). n: significa el número de días contemplado del día (0-45), (45-90) y (90-120). Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para cada parámetro en cada una de las etapas de crecimiento. T: temperatura; H: humedad.

Los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) respecto al parámetro de temperatura, en donde se puede observar que a las 17:00 h había una disminución de la temperatura.

Sin embargo, los resultados se encuentran en un rango aceptable de acuerdo con Fuentes (1987), que menciona que una temperatura $> 25^{\circ}\text{C}$ ralentiza el crecimiento de lombrices pequeñas y jóvenes, además de alterar la mortalidad en lombrices adultas. En el parámetro de humedad y pH no existe una diferencia significativa ($p > 0.05$) lo que significa que el hábitat de la lombriz es adecuado de acuerdo con Geleta et al. (2023), quienes mencionan que las condiciones óptimas de humedad y pH para el hábitat de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) son de 70-90% y pH 5-9, respectivamente.

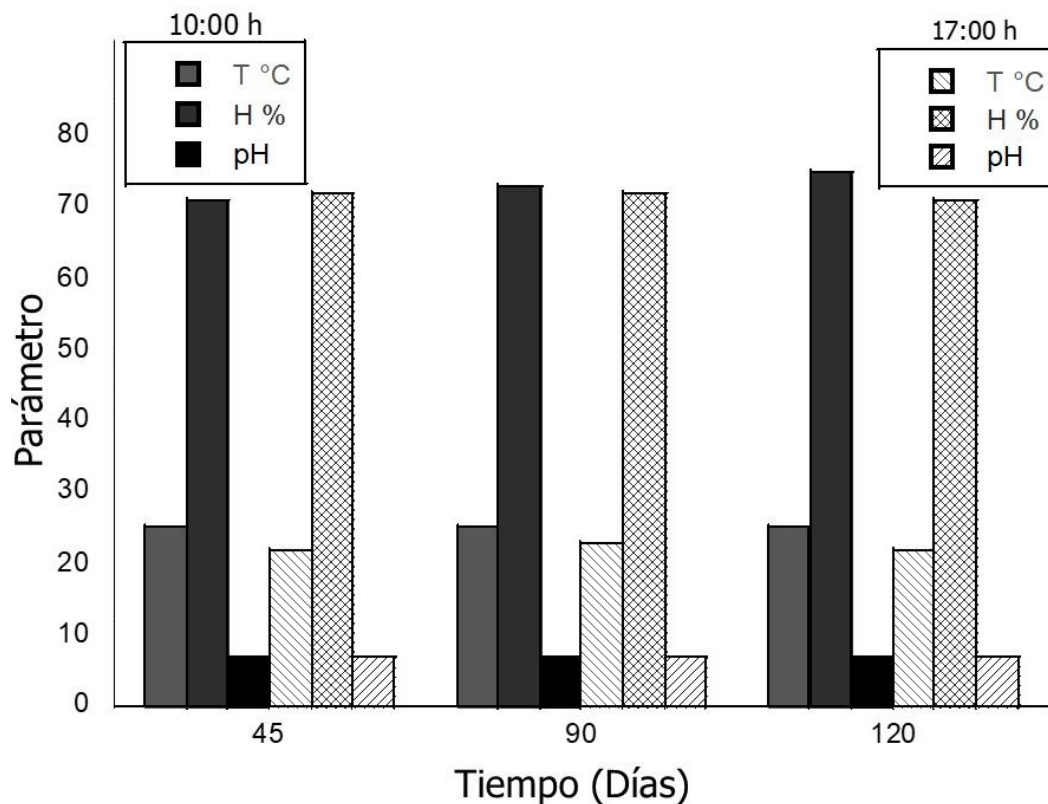


Figura 11. Comportamiento de parámetros (temperatura, humedad y pH) durante el crecimiento de lombriz.

4.1.1 Crecimiento y reproductividad de la lombriz roja californiana

Las lombrices adultas fueron identificadas por el anillo clitelar midieron de 8-10 (cm) de longitud y llegaron a pesar 0.6-0.7 (g) en su estado adulto. En cuanto a su alimentación la ingesta diaria es equivalente a su peso, de la cual defeca un 60% en forma de humus y el 40% restante lo utiliza para su sustento. El control de crecimiento de la lombriz se muestra en la Tabla 6, el cual se ve influenciado por la ingesta en su alimentación, al lado de las condiciones de humedad, temperatura y

pH, por tanto, es importante priorizar estas condiciones que permitirán obtener un índice morfológico adecuado.

Tabla 6. Efecto del acondicionamiento y la alimentación en el crecimiento de *Eisenia foetida*.

Ciclo de vida (Días)	Parámetro morfológico					
	LP		LJ		LA	
	Longitud (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)	Peso (g)
0	3.7 ± 0.49 ^a	0.2 ± 0.05 ^a	5.5 ± 0.51 ^b	0.4 ± 0.05 ^b	9.6 ± 0.35 ^c	0.6 ± 0.08 ^c
45	3.7 ± 0.48 ^a	0.2 ± 0.00 ^a	5.5 ± 0.51 ^b	0.4 ± 0.05 ^b	9.6 ± 0.04 ^c	0.6 ± 0.08 ^c
90	3.8 ± 0.43 ^a	0.3 ± 0.04 ^a	5.6 ± 0.49 ^b	0.4 ± 0.05 ^b	9.8 ± 0.30 ^c	0.7 ± 0.05 ^c
120	3.8 ± 0.39 ^a	0.3 ± 0.04 ^a	5.8 ± 0.39 ^b	0.4 ± 0.04 ^b	9.8 ± 0.20 ^c	0.7 ± 0.05 ^c

Se reportó el promedio ± desviación estándar del crecimiento de las lombrices desde el día 0 (inicial): LP (n=30); LJ (n=30); LA (n=30); 45 (días) LP (n=60); LJ (n=30); LA (n=30); 90 (días) LP (n=160); LJ (n=80); LA (80); 120 (días) LP (n=200); LJ (n=100); LA (n=100). Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ($p<0.05$) para cada parámetro en cada una de las etapas de crecimiento. LP: lombrices pequeñas; LJ: lombrices jóvenes; LA: lombrices adultas; T: temperatura; H: humedad.

El análisis estadístico realizado muestra que existe una diferencia significativa ($p<0.05$) lo que permite observar un incremento favorable en el índice morfológico (longitud y peso) conforme transcurren los días (0-120). La reproductividad de las lombrices se ve favorecida por las condiciones y la alimentación empleada durante los 120 días, a su vez considerando que la capacidad de cría de lombrices se aproxima a 3000 lombrices por m² y teniendo en cuenta que las dimensiones del contenedor empleado permiten un volumen aproximado de 5.04x10⁻² m² con una capacidad para 20 kg entre materia orgánica y lombrices, por lo que resulta favorable para la producción de humus y biomasa para la elaboración de la harina.

La importancia de la dieta (Tabla 3) con la que se alimentó a la población tiene como objetivo beneficiar en el crecimiento morfológico de la lombriz, teniendo en cuenta que se busca sea apta para consumo humano o animal con un importante contenido nutricional. No obstante, es importante mencionar que además del aprovechamiento de desechos orgánicos provenientes de los hogares, mercados regionales y municipales, es posible aprovechar otro tipo de desechos como: huesos y plumas de aves de corral, excrementos (aves de corral, cerdos, vacas, ovejas y caballos), excrementos de animales de peletería (zorros, visones y conejos), residuos del cultivo, bagazos de cervecerías y fábricas de papel (Kostecka et al., 2022).

Santos (2021), señala que la reproducción y crecimiento de la lombriz roja californiana están directamente relacionado con el tipo de sustrato en el cual se desarrolla y vive. Las condiciones de acondicionamiento y alimentación permiten a la lombriz un hábitat que favorece su reproductividad la cual se muestra en la Tabla 7. Se reportó el conteo de lombrices a los 120 días sin considerar el número de cocones presentes en el contenedor, de manera que considerando que el desarrollo para el acondicionamiento y reproductividad se realizó a pequeña escala es coherente si se compara con la tasa de reproducción mencionada por Navas (2003) la cual hace mención que 1, 000, 000 de lombrices al cabo de un año se convierten en 12, 000, 000 y en dos años en 144, 000, 000.

Tabla 7. Reproductividad de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Ciclos de vida (Días)	LP	LJ	LA	Total
0	30	30	30	90
45	60	30	30	120
90	160	80	80	320
120	200	100	100	400

LP: lombrices pequeñas; LJ: lombrices jóvenes; LA: lombrices adultas.

4.2 Obtención de Harina de Lombriz Roja Californiana.

Uno de los puntos a evaluar es el método de obtención de la harina, puesto que este está relacionado con el rendimiento, así como el contenido nutricional, además en

el proceso para la obtención de la muestra es expuesta diferentes métodos de sacrificio, temperatura y molienda, parámetros que pueden modificar propiedades físicas y químicas de la harina. Por otra parte, es importante considerar su alimentación ya que al tratarse de desechos orgánicos está expuesta a crecimiento microbiológico. Los rendimientos de la harina obtenida mediante dos metodologías para el tratamiento, sacrificio, secado y molienda se muestran en la Tabla 8. Se observa un mejor rendimiento para la muestra tratada con la metodología dos (HDLC), en donde se emplea una congelación a -20 °C.

Tabla 8. Rendimiento de la obtención de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

HDLN	Lombriz (g)	HDLC (g)	Lombriz (g)
Peso lombriz en vivo	300 ± 0.00	Peso lombriz en vivo	300 ± 0.00
Lavado 24 h en agua	300 ± 0.00	Lavado 24 h en agua	300 ± 0.00
Lavado 20 min. NaCl (1%)	300 ± 0.00	Lavado 20 min. NaCl (1%)	300 ± 0.00
Lavado 24 h en NaCl (15%)	300 ± 0.00	Congelación -20 °C durante 24 h	300 ± 0.00
Escaldado	100.5 ± 0.71	Escaldado	100.5 ± 0.71
Secado	48.5 ± 0.71	Secado	60.5 ± 0.71
Molienda	46.1 ± 0.85	Molienda	59.05 ± 0.64
Rendimiento	15%	Rendimiento	20%

Se reportó el promedio± desviación estándar (n=2). Los resultados obtenidos permiten calcular el rendimiento de las dos muestras: HDLN (15 %); HDLC (20 %). HDLN: harina de lombriz con NaCl; HDLC: harina de lombriz congelada.

4.3 Análisis Químico Proximal

Respecto a las harinas evaluadas (HDLN, HDLC) muestran un contenido nutricional similar (Tabla 9), mismo que esta influenciado por las condiciones de crecimiento, alimentación, el método de sacrificio y la influencia de las temperaturas de secado.

El estudio permitió determinar propiedades físicas y químicas (humedad, grasas, proteínas, cenizas y carbohidratos) de las harinas obtenidas por las distintas metodologías empleadas, dichos resultados son comparados con los de la bibliografía. Los resultados obtenidos en la HDLN se encuentran por encima en porcentajes de grasa 25.87% y proteína 53.35%, en tanto carbohidratos y cenizas presenta diferencia en comparación con lo reportado por García-Solís, A. (2023) el cual menciona que la harina de lombriz contiene 5.22% de grasa, 51.63% de proteína, 6.69% carbohidratos totales 22.16% de cenizas y 2.23% de fibra bruta.

Tabla 9. Contenido nutricional de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Análisis químico-proximal	HDLN	HDLC
Humedad	9.21±0.08 ^a	8.18±0.24 ^b
Grasa	25.87±0.37 ^a	25.14±0.16 ^a
Proteína	53.35±0.49	*
Cenizas	8.18±0.00 ^a	8.04 ± 0.04 ^b
Carbohidratos	3.39±0.78	*

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=2). Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ($p<0.05$). HDLN: harina de lombriz con NaCl; HDLC: harina de lombriz congelada. * resultados no presentados.

El análisis estadístico muestra una diferencia estadísticamente significativa ($p<0.05$) en los parámetros de humedad y cenizas, es decir los valores reportados para HDLC son menores a los reportados para HDLN, esta diferencia puede resultar favorable porque existe una probabilidad de tener un mayor porcentaje de proteína o grasa dependiente del método de sacrificio.

En comparación con resultados presentados por Kostecka et al. (2022) quien reporta una composición de: 17.79% humedad, ceniza bruta 0.74%, proteína total 61.28% y grasa 1.58% de la harina de lombriz roja californiana criada en residuos orgánicos. De manera que los resultados obtenidos de ambas muestras (HDLN, HDLC) en el estudio se encuentran por debajo en cuanto al porcentaje de proteína y humedad, pero por encima en porcentajes de grasa por ende está diferencia se puede justificar teniendo en cuenta la recolección, sacrificio, secado, molienda y conservación de la

lombriz de tierra son procesos fundamentales porque no sólo afectan a la calidad nutricional, sino también a la palatabilidad, los riesgos microbianos y la posible toxicidad de la harina de lombriz. La manipulación y el procesado de *Eisenia foetida* ha sido una de las principales limitaciones para su producción comercial debido a la naturaleza viscosa, pegajosa y húmeda del gusano (Edwards, 1985; Dynes, 2003).

4.4 Propiedades Tecno-funcionales

4.4.1 Capacidad de Retención de Agua (CRA).

La Figura 12 muestra los resultados obtenidos para la capacidad de retención de agua (CRA) de la harina de lombriz ajustada a tres distintas temperaturas, lo que permite observar un incremento de absorción de agua conforme aumenta la temperatura, debido a la desnaturalización de las proteínas. Fennema et al. (2019) mencionan que en el caso de la desnaturalización parcial de las proteínas alimenticias en las interfases aire-agua y aceite-agua mejora sus propiedades espumantes y emulsificantes evitando la desnaturalización térmica intensa.

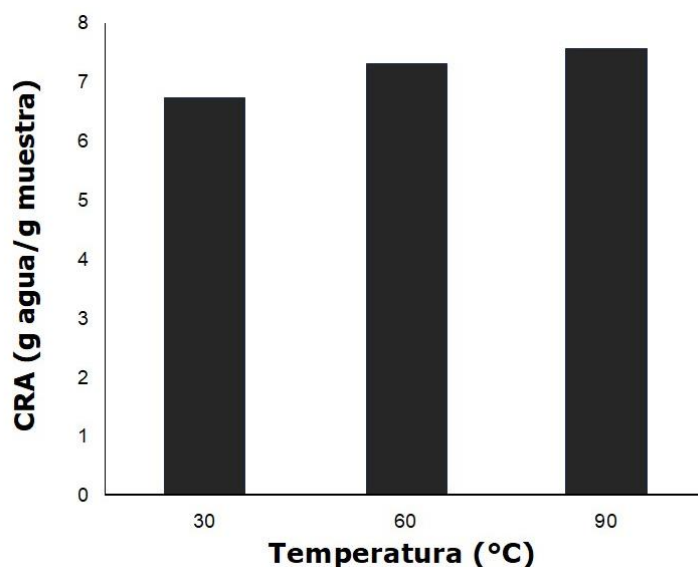


Figura 12. Capacidad de retención de agua en la muestra harina de lombriz congelada (HDLN.)

Los resultados obtenidos para la capacidad de retención de agua (CRA) se encuentran por encima de valores reportados por Kavle et al. (2023) quienes reportan para la capacidad de retención de agua (2.93 g de agua/g de muestra) en polvo obtenido a partir de la lombriz tigre (*Eisenia andrei*) y en fracciones de harinas de mosca soldado (0.2-0.6 g de agua/g muestra) reportados por Mshayisa et al. (2022). Una mayor o menor CRA puede variar dependiente del método de extracción, especie, sacrificio, secado y la dieta de alimentación del insecto u oligoqueto.

El valor de CRA juega un papel importante en las propiedades de las matrices alimentarias, como puede ser la textura-estructura del producto final. De acuerdo con Mshayisa et al. (2022), la CRA de los ingredientes proteicos pueden verse influenciadas por factores intrínsecos como la secuencia de aminoácidos, la conformación de las proteínas, la hidrofobicidad y la polaridad.

4.4.2 Determinación de Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad de Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH).

El índice de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento se calculó con base en la metodología propuesta por Anderson et al. (1969), este método permitió obtener los resultados que se muestran en la Tabla 10.

El índice de absorción agua (IIA) se encuentra por encima, mientras que el índice de solubilidad en agua (ISA) es menor a los presentados por Lezcano et al. (2017) quienes mencionan un índice de absorción de agua (IIA=2.38) y un índice de solubilidad en agua (ISA=25.86). Cerda et al. (2017) el cual menciona que la proteína en la harina absorbe alrededor de 1.3 veces su peso en agua. Este valor es una estimación de la importancia que tienen estos macronutrientes en la determinación de la absorción de agua en la harina. Este es un punto importante a considerar por el alto contenido proteico obtenido en la muestra, aunado a esto es bien sabido que las proteínas están conformadas por enlaces peptídicos de

aminoácidos, los cuales, según Moreno (2013) una clasificación de los aminoácidos suele ser con base a la polaridad de su cadena lateral y la capacidad de interaccionar con las moléculas de agua, en ese sentido se dividen en: hidrofóbicos, hidrofílicos y de polaridad intermedia, por tanto se puede sustentar el IIA (2.6), obtenido en la muestra.

Tabla 10. Caracterización física de la harina de lombriz con NaCl.

	IIA	ISA	PH
HDLN	2.60 ± 0.03	15.89 ± 0.65	2.51 ± 0.03

Se reportó el promedio ± desviación estándar (n=2). IIA: Índice de absorción de agua; ISA: Índice de solubilidad de agua; PH: poder de hinchamiento.

El ISA (15.89) y PH (2.51) obtenidos puede verse afectado en la muestra por la presencia de proteína y la desnaturalización de esta, además Njintang & Mbofung (2006) afirman que, si bien el secado a altas temperaturas es más eficiente, el proceso afecta negativamente la calidad del producto en términos de color, funcionalidad y rendimiento de la harina durante la reconstitución. En cuanto al PH está relacionado al IAA, ya que una de las características de este es aumentar el volumen debido a la interacción con agua y así mismo se caracteriza por ser una propiedad tecno-funcional de las proteínas (García et al., 2012).

4.5 Propiedades de Flujo de la Harina

Las propiedades de flujo de las harinas (Tabla 11) mostraron que la densidad aparente (DA) obtenida de la muestra HDLN (0.41 g/mL), presenta valores similares a los presentados por Bressani et al. (2001), para harinas de maíz nixtamalizadas (0.410 – 0.547 g/mL), mientras que para la muestra HDLC (0.39 g/mL) se encuentra fuera del rango mencionado. Según Carneiro et al. (2012) la ventaja de obtener polvos con valores de alta densidad es que permite almacenar grandes cantidades dentro de contenedores pequeños. Respecto a la densidad empacada (DE), las harinas presentan valores en un intervalo de 0.58 – 0.61 g/mL, parámetro que se encuentra influenciado por el tamaño y forma de las partículas sólidas. Por otra

parte, a partir de la densidad aparente (DA) y densidad empaquetada (DE) se obtiene la compresibilidad y cohesividad de los polvos, comúnmente expresada como índice de Carr (IC) y coeficiente de Hausner (CH), en donde ambas muestras (HDLN; HDLC), presentan una fluidez aceptable relacionado con el tamaño de partícula, teniendo en cuenta que los materiales con un menor tamaño de partícula presentan una mayor fluidez y los materiales con un mayor tamaño de partícula presentan una fluidez pobre. Estas características permiten predecir el comportamiento de los polvos durante su manejo, envasado, almacenamiento, transporte y compresión mecánica (Juliano et al., 2006). Respecto, al ángulo de reposo ambas muestras (HDLN; HDLC) presentaron buen flujo de acuerdo con Santomaso et al., (2003). Este parámetro está asociado con la fricción entre partículas y la resistencia al movimiento entre estas (Ileleji & Zhou, 2008).

Tabla 11. Propiedades de flujo de la harina de lombriz.

Propiedad de flujo	Muestra actual	
	HDLN	HDLC
DA (g/cm ³)	0.41±0.00 ^a	0.39±0.00 ^b
DE (g/cm ³)	0.61±0.00 ^a	0.58±0.00 ^b
IC	32.00±0.00 ^a	32.12±0.20 ^a
CH	1.47±0.00 ^a	1.47±0.00 ^a
Ángulo de reposo (Θ)	22.56±0.36 ^a	31.39±0.37 ^b

Se reportó el promedio $\pm$ desviación estándar (n=3). Letras diferentes por fila indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). HDLN: harina de lombriz con NaCl; HDLC: harina de lombriz congelada.

El análisis estadístico mostró diferencia significativa ($p < 0.05$) en cada parámetro analizado con respecto a las propiedades de flujo de la harina, que se puede justificar con base a la modificación en la metodología para HDLC, en la fase de sacrificio ya que la temperatura de secado y molienda fueron las mismas para ambas muestras.

En el estudio realizado se tomó en cuenta estudios preliminares reportados en el proyecto de investigación en donde se analizó distintas metodologías para concretar la metodología que se reporta en el presente estudio. Las harinas obtenidas previamente (HDLN1: harina de lombriz deshidratada a 60 °C durante 3 h y HDLN2: harina de lombriz deshidratada a 90 °C durante 2 h). Las propiedades de flujo de las muestras (HDLN1, HDLN2) se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Propiedades de flujo preliminares.

Propiedad de flujo	Muestra preliminar	
	HDLN1	HDLC2
DA (g/cm ³)	0.46	0.53
DE (g/cm ³)	0.68	0.59
IC	32.39	9.99
CH	1.48	1,11
Ángulo de reposo (Θ)	24.4	16.69

HDLN1 significa harina de lombriz deshidratada a 60 °C durante 3 h; HDLN2 significa harina de lombriz deshidratada a 90 °C durante 2 h

Análisis de Textura de Imagen

Las imágenes obtenidas, se sometieron a un análisis de textura de imagen en donde se evaluaron los parámetros de textura como segundo momento angular (SMA), contraste, correlación, momento inverso de diferencia (MID) y entropía (Tabla 13).

Hernández-Carrión et al. (2015) menciona que el análisis de imágenes puede ser una herramienta particularmente útil para caracterizar la morfología de los alimentos porque las estructuras altamente irregulares de muchos materiales alimentarios eluden una cuantificación precisa por medios convencionales.

Tabla 13. Análisis de imagen de la harina de lombriz roja californiana.

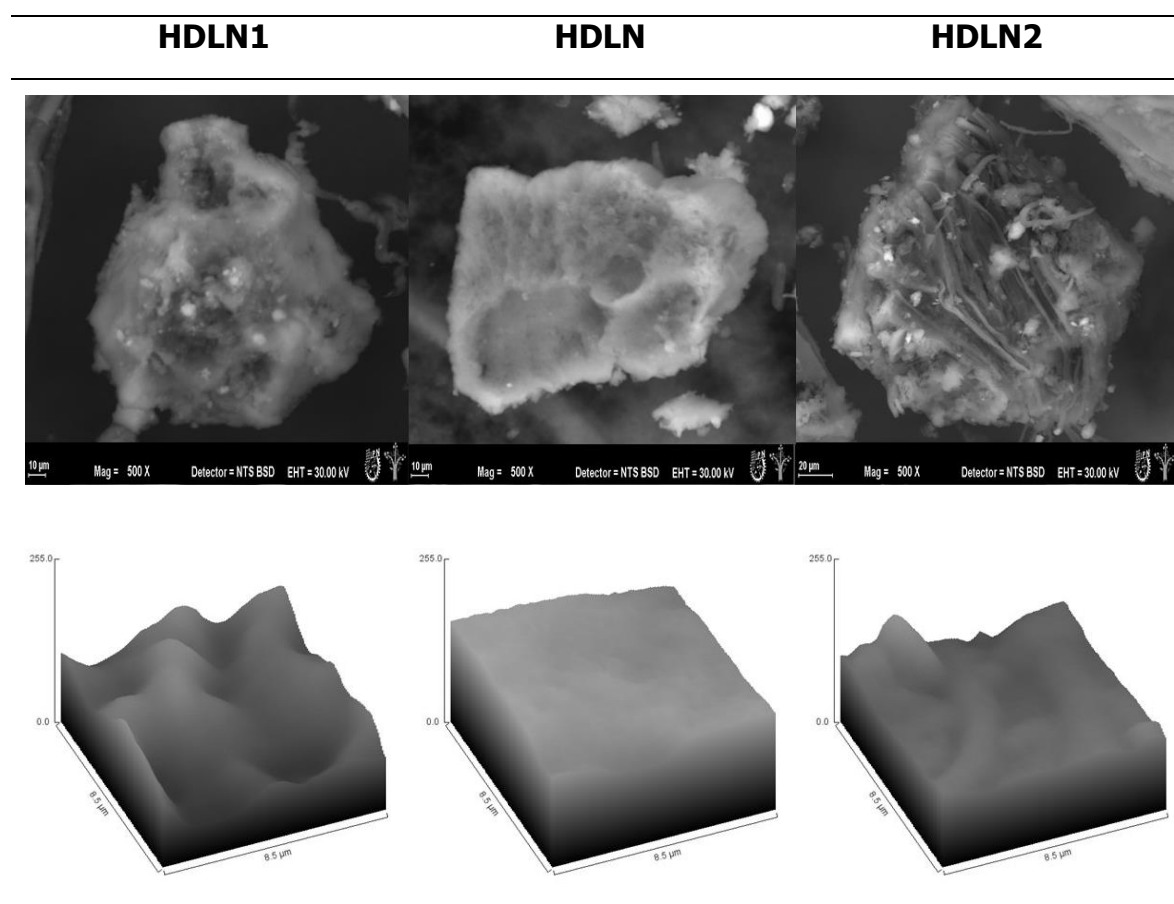
Muestra	TDP (μm)	SMA	Contraste	Correlación	MID	Entropía
HDLN1	79.834 $\pm$ 17.38 ^a	0.002 $\pm$ 0.00 ^a	15.508 $\pm$ 7.80 ^a	0.003 $\pm$ 0.00 ^a	0.325 $\pm$ 0.06 ^a	6.496 $\pm$ 0.47 ^a
HDLN	76.585 $\pm$ 25.96 ^a	0.003 $\pm$ 0.00 ^a	8.962 $\pm$ 3.44 ^a	0.008 $\pm$ 0.01 ^b	0.351 $\pm$ 0.04 ^a	6.104 $\pm$ 0.44 ^b
HDLN2	82.827 $\pm$ 20.64 ^a	0.003 $\pm$ 0.00 ^a	25.012 $\pm$ 18.77 ^b	0.004 $\pm$ 0.00 ^a	0.318 $\pm$ 0.07 ^a	6.460 $\pm$ 0.51 ^a

Se reportó el promedio $\pm$ desviación estándar (n=30). Letras diferentes por columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p<0.05$). SMA: segundo momento angular; MID: momento inverso de diferencia; HDLN1: harina de lombriz deshidratada a 60 °C durante 3 h; HDLN: harina de lombriz con NaCl; HDLN2: harina de lombriz deshidratada a 90 °C durante 2 h.

El análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa ($p<0.05$), por lo que se puede verificar el tamaño de partícula y los gráficos 3D, en donde se puede observar modificaciones en su textura dependiente de la temperatura y molienda empleada, por tanto, las muestras (HDLN y HDLN2) son similares entre sí, pero diferentes de la muestra HDLN1.

En la Tabla 14 se muestran las imágenes de tamaño de partícula y los gráficos de superficie en 3D. Se encontró diferencia estadísticamente significativa en las muestras analizadas, el parámetro de contraste indicó que la muestra HDLN1 presento mayor heterogeneidad de la imagen, es decir, representa una imagen más compleja, en comparación con las muestras (HDLN y HDLN2) resultados que concuerdan con los obtenidos en fluidez de los materiales, en donde una menor homogeneidad de la superficie presenta una menor fluidez de estos. Hernández- Carrión et al., (2015) señala que las superficies más rugosas o irregulares de las imágenes presentan valores más altos respecto al SMA y contraste.

Tabla 14. Tamaño de partícula y gráficos en 3D.



Los cambios que sufre en el tamaño de partícula resultan favorables para las propiedades de flujo, dependiente de la temperatura de deshidratación empleada, aunque es importante considerar de igual manera el tipo de molienda debido a que en la muestra HDLN se molió en un molino (Hamilton Beach Molino de Granos y Especies 80393), a diferencia de las muestras (HDLN1, HDLN2) que fueron molidas en un mortero con pilón, por tanto se considera que para estas muestras influyo la temperatura para obtener un tamaño de partícula adecuado en el caso de la muestra HDLN2.

4.6 Isotermas de Adsorción

Una revisión hecha por Brunauer et al. (1940), llevó a establecer cinco tipos de isotermas. Con base a los resultados obtenidos es importante considerar los tipos II y III que son los más frecuentes en alimentos no porosos. El tamaño de partícula, la variedad, la composición, las condiciones de procesado, entre otros aspectos relacionados con el propio material pueden afectar las isotermas de sorción (Martínez et al., 1998). En la Tabla 15 se muestran los valores de K , C (constante energética) y M_0 (monocapa) para HDLN. Con los resultados dados por la constante C es posible clasificar el tipo de fisisorción de acuerdo con Brunauer et al. (1940). Una $C > 2$ corresponde a las isotermas tipo I y II, esto significa que las fuerzas de atracción entre el adsorbato y el adsorbente son más grandes que las fuerzas de atracción entre las moléculas del adsorbato en estado líquido, cuando estas fuerzas son pequeñas $C < 2$ corresponden a una isoterma III.

Tabla 15. Valores de isotermas de adsorción

Temperatura (°C)	M_0	C	K	R
20	0.021	15.442	1.173	0.986
25	0.033	7.133	0.977	0.997
30	0.015	16.898	0.982	0.934

M_0 : monocapa; C y K : constantes energéticas.

La influencia de la temperatura a causa del carácter exotérmico del fenómeno de adsorción, el aumento de temperatura se interpreta como una pérdida de humedad del producto en equilibrio con una humedad relativa determinada, es decir, un aumento de a_w para el mismo contenido en humedad (Martínez et al., 1998). Este efecto se puede observar en las isotermas de adsorción obtenidas en la Harina de lombriz con NaCl (HDLN) a 20, 25, 30 °C (Figura 13).

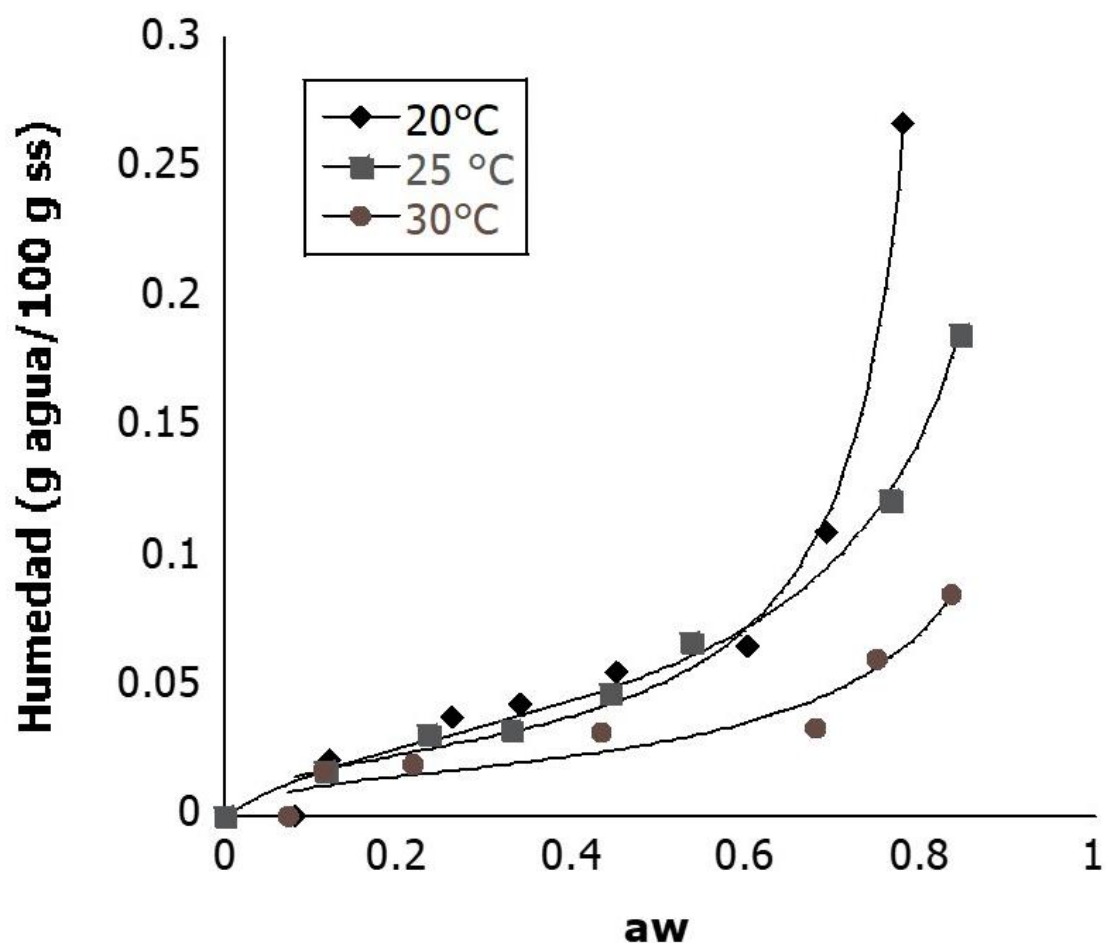


Figura 13. Isothermas de adsorción de vapor de agua.

El estado físico (cristalino o amorfo) en relación con los resultados obtenidos de capacidad de retención de agua y en cuanto al tamaño de partícula obtenido en el análisis de textura se puede clasificar como una partícula irregular según, la clasificación dada por Herdan, 1960 & Allen, 1981. Por lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta los valores obtenidos en las isothermas de adsorción (C , K y M_o) se puede clasificar como una isoterma tipo I y II que son más frecuentes en alimentos no porosos.

Capítulo V

Conclusiones

5.1 Conclusión

Los resultados mostraron la viabilidad de la crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) manteniendo un control de la temperatura en un rango de 20-25 °C, un pH en el rango de 6.5 – 7.5 y una humedad entre el 70 – 80%. Lo que permite el desarrollo de lombrices jóvenes y mantiene lombrices adultas. Esto brinda una materia prima adecuada que permite la elaboración de harina las cuales presentaron un rendimiento entre el 15 - 20%. La composición físico-química de la harina de lombriz con NaCl presento un contenido proteico del 53.35 %. El análisis de textura de imagen mostró un cambio de la microestructura de las harinas obtenidas dependiente de la temperatura de deshidratación y método de molienda empleado, lo que se ve reflejado en las propiedades de flujo de las harinas, por último, en tanto a las isotermas de adsorción se clasifica en una isoterma tipo II y III. Por lo que, la harina de lombriz podría ser una fuente de alta proteína que ayude a la generación de subproductos con alto contenido proteico que permitan su aplicación en la industria alimentaria y/o biotecnológica, además del aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por el desperdicio de alimentos del sector agroindustrial y comercial de los mercados municipales de la región VI del estado de Puebla y con ello contribuir a la seguridad alimentaria y a los objetivos dos “hambre cero” y 13 “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” de los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Capítulo VI

Competencias desarrolladas

6.1 Competencias Desarrolladas y/o Aplicadas

- Trabajo en equipo
- Uso de programas para el desarrollo de investigación
- Uso de software
- Desarrollo de investigación
- Revisión de bibliografía
- Habilidades en el manejo de recursos digitales

Capítulo VII

Fuentes de información

7.1 Fuentes de Información

Abbey, B. W., & Ibeh, G. O. (1988). Functional properties of raw and heat processed cowpea (*Vigna unguiculata*, Walp) flour. *Journal of food science*, 53(6), 1775-1777.

Alcívar-Cedeño, U., Dueñas-Rivadeneira, A., Sacon-Vera, E., Bravo-Sánchez, L., & Villanueva-Ramos, G. (2016). Influencia de los tipos de secado para la obtención de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a escala piloto. *Tecnología Química*, 36(2), 187-196.

Allen, T. (1981). *Participle Size Measurement*. Chapman & Hall, London.

Anderson, R. A. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrusión-cooking. *J. Cereal. Science.*, 14, 4-7.

AOAC. (2000). *Association of Official Analytical Chemists*.

Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson Educación.

Bressani, R., Turcios, J. C., Reyes, L., & Mérida, R. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 309-313.

Brunauer, S., Deming, L. S., Deming, W. E., & Teller, E. (1940). On a theory of the van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical society*, 62(7), 1723-1732.

Carneiro, H. C., Tonon, R. V., Grosso, C. R., & Hubinger, M. D. (2012). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 309- 313.

Carneiro, H. C., Tonon, R. V., Grosso, C. R., & Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of food engineering*, 115(4), 443-451.

Castro-Bedriñana, J., Chirinos-Peinado, D., & Sosa-Blas, H. (2020). Digestibility, digestible and metabolizable energy of earthworm meal (*Eisenia Foetida*) included in two levels in Guinea Pigs (*Cavia Porcellus*). *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(3), 171-177.

Cerda, L., Cerda, V., Rosales, A. P., Miranda, C. M., & Martínez, A. P. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: características y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo importado en la producción de pan y fideos. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 6(3), 201-216.

Chirife, J. y Fontana Jr, AJ (2020). Introducción: hitos históricos de la investigación de la actividad acuática. *Actividad del agua en los alimentos: fundamentos y aplicaciones*, 1-11.

Cuesta López, A., & Padilla Alvarez, F. (2003). *Zoología aplicada*. Ediciones Díaz de Santos.

De la Federación, D. O. (2020). Programa institucional entidades no sectorizadas derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024. *Programa Institucional*, 2024.

FAO, FIDA y PMA. 2013. Declaración Universal de los Derechos humanos. *Asamblea General de las Naciones Unidas*, 10.

Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2019). Introducción a la química de los alimentos. In *Fennema, química de los alimentos* (pp. 1-16). Acribia.

Flores, R. V. (2014). El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería industrial*, (32), 231-246.

Friedrich, T. (2014). La seguridad alimentaria: retos actuales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 319-322.

Fuentes Yague, J. L. (1987). La crianza de la lombriz roja.

García, O., Aiello, C., Chirino, M. C. P., Ruíz-Ramírez, J., & Pons, I. A. (2012). Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919-928.

García-Segovia, P., Igual, M., Noguerol, A. T., & Martínez-Monzó, J. (2020). Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks. *European food research and technology*, 246(4), 703-712.

García-Solís, A. A. (2023). A Rapid Study for Proximal Composition and Sensory Evaluation of *Eisenia foetida* Earthworm Meal as a Protein Source. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(1), 412-421.

Garczyńska, M., Kostecka, J., Pączka, G., Mazur-Pączka, A., Cebulak, T., & Butt, K. R. (2023). Chemical Composition of Earthworm (*Dendrobaena veneta* Rosa) Biomass Is Suitable as an Alternative Protein Source. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3108.

Geleta, Z. T., & Daka, Y. S. (2023). Effects of Vermiconversion on Coffee husk, Paper waste and Vegetable waste Using Red Worm (*Eisenia foetida*) in Begi Woreda, Ethiopia.

General, L. A. (1948). Declaración Universal de los Derechos humanos. *Naciones Unidas*, 2.

Gupta, R., & Garg, V. K. (2017). Vermitechnology for organic waste recycling. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 83-112). Elsevier.

Hartenstein, R., Neuhauser, E. F., & Kaplan, D. L. (1979). Reproductive potential of the earthworm *Eisenia foetida*. *Oecologia*, 43, 329-340.

Herdan, G. (1960). *Small Particle Statistics*. Butterworths, London.

Hernández-Carrión, M., Hernando, I., Sotelo-Díaz, I., Quintanilla-Carvajal, M. X., & Quiles, A. (2015). Use of image analysis to evaluate the effect of high hydrostatic pressure and pasteurization as preservation treatments on the microstructure of red sweet pepper. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 69-78.

Ileleji, K. E., & Zhou, B. (2008). The angle of repose of bulk corn stover particles. *Powder technology*, 187(2), 110-118.

INEGI [internet]. México:Inegi; 2018 [Citado 29 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ensanut/2018/>

Juliano, P., Muhunthan, B., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2006). Flow and shear descriptors of preconsolidated food powders. *Journal of food engineering*, 72(2), 157-166.

Jumah, R. Y., Tashtoush, B., Shaker, R. R., & Zrai, A. F. (2000). Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed. *Drying Technology*, 18(4-5), 967-984.

Kostecka, J., Garczyńska, M., Pączka, G., & Mazur-Pączka, A. (2022). Chemical composition of earthworm (*Eisenia fetida* Sav.) biomass and selected determinants for its production. *Journal of Ecological Engineering*, 23(7).

Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2020). Water activity prediction and moisture sorption isotherms. *Water activity in foods: fundamentals and applications*, 161-205.

Labuza, T. P., & Tannenbaum, S. R. (1972). Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 3(2), 217-240.

Lang, K. W., McCune, T. D., & Steinberg, M. P. (1981). A proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms. *Journal of Food Science*, 46(3), 936-938.

Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2005). *Lehninger principles of biochemistry*. Macmillan.

Lezcano, J. F., & Borjas, G. J. (2017). *Optimización en la elaboración de harina de lombriz (Eisenia foetida) como fuente proteica en alimento para alevines de tilapia (Oreochromis sp.)* (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2017.).

- Luna Jiménez, A. (2006). Valor nutritivo de la proteína de soya. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (36), 29-34.
- Martínez, N., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. *Universidad Politécnica de Valencia. España*.
- Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food control*, 12(7), 409-417.
- Morales, K. J. A., Lalangui, A. S. T., Cañar, S. D. L. A. B., & Parraga, C. L. G. (2018). MALNUTRICION ¿enfermedad de los países en desarrollo?. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(1), 446-463.
- Moreira, G. É. G., Costa, M. G. M., de Souza, A. C. R., de Brito, E. S., de Medeiros, M. D. F. D., & de Azeredo, H. M. (2009). Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 641-645.
- Moreno, S. (2013). Temas selectos de Bioquímica general.
- Musyoka, S. N., Liti, D. M., Ogello, E., & Waidbacher, H. (2019). Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*, 50(9), 2301-2315.
- Navas, C. 2003. Humus de la lombriz: el mejor fertilizante natural del mundo (en línea). Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://usuarios.arnet.com.ar/mmorra/Humus.htm>.
- Pérez-Conesa, D., Ros, G., & Periago, M. J. (2002). Protein nutritional quality of infant cereals during processing. *Journal of Cereal Science*, 36(2), 125-133.
- Pérez-Corría, K., Botello-León, A., Mauro-Félix, A. K., Rivera-Pineda, F., Viana, M. T., Cuello-Pérez, M., ... & Martínez-Aguilar, Y. (2019). Chemical composition of earthworm (*Eisenia foetida*) co-dried with vegetable meals as an animal feed. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 79-92.
- Porras-Saavedra, J.F. (2014). Propiedades Microestructurales, Calorimétricas y Distribución de Componentes en Microcápsulas Obtenidas Mediante Secado por Aspersión. Tesis Doctoral. Instituto Politécnico Nacional.
- Riascos-Vallejos, A. R., Crespo, G., Guerrero-Guerrero, E. M., & Medina-Mesa, Y. (2022). Effect of food source on the chemical composition of Californian red worm (*Eisenia foetida*) vermicompost. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(3).
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., & Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información tecnológica*, 34(2), 11-20.

- Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16-27.
- Santomaso, A., Lazzaro, P., & Canu, P. (2003). Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chemical Engineering Science*, 58(13), 2857-2874.
- Santos, J. (2021). Evaluación de tres sustratos sobre el desempeño productivo y reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Revista Colombiana de Zootecnia*, 7(12), 18-23.
- Shah, R. B., Tawakkul, M. A., & Khan, M. A. (2008). Comparative Evaluation of Flow for Pharmaceutical Powders and Granules. *An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists*, 9(1), 250-258.
- Siguas, B. M. (2014). Repositorio. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content>
- Simatos, D., & Multon, J. L. (Eds.). (2012). *Properties of Water in Foods: In Relation to Quality and Stability* (Vol. 90). Springer Science & Business Media.
- Singh, J., Singh, S., Vig, A. P., & Kaur, A. (2018). Environmental influence of soil toward effective vermicomposting. In *Earthworms-The Ecological Engineers of Soil*. IntechOpen.
- Sosulski, F. W. (1962). The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemical*, 39, 344-350.
- Torun, B. (1988). Proteínas y aminoácidos: Características y satisfacción de requerimientos con dietas latinoamericanas. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 483-505.
- Unicef. (2016). Comparative Evaluation of Flow for Pharmaceutical Powders and Granules. *An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists*, 9(1), 250-258.
- Villalobos Espinosa, J. D. C. (2013). Efecto del almidón nanoestructurado en las propiedades fisicoquímicas de un producto elaborado con papa, aplicando microondas.
- Zubieta, C. E. (2010). Materiales mesoporosos ordenados en la eliminación de contaminantes en efluentes textiles.

7.2 Anexos

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Jesús Daniel Chino Rojas, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle Cuahuctémoc, 30 Guadalupe Victoria, Jalacingo, Veracruz, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE AGUA DE LA HARINA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*)" en adelante "LA OBRA" quien para todos los fines del presente documento se denominará "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se regirá por las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de "LA OBRA", para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de "LA OBRA" en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" conserva los derechos patrimoniales y morales de "LA OBRA", objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre "LA OBRA"; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de "LA OBRA" y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, al primer día del mes **febrero** de 2024.

"EL(LA) AUTOR(A) Y/O
EL (LA) TITULAR



Jesús Daniel Chino Rojas
Nombre y Firma

"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN"



Arminda Juárez Arroyo
Directora General Nombre, Firma y Sello
INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN
DIRECCIÓN GENERAL

Asunto: **Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen**

Teziutlán, Puebla, **15/enero/2024**

Asesor(a): **JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA**
Integrante de Comisión Revisora: **MAYRA NICOLAS GARCIA**
Integrante de Comisión Revisora: **DULCE MARIA HERNANDEZ DEGANTE**
Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno(a): **CHINO ROJAS JESUS DANIEL**
Asignación sistema/matema/nombre (s):
Número de Control: **19TE0436** Licenciatura o Posgrado: **INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
Plan: **2010** Correo Electrónico: **L19TE0436@TEZIUTLAN.TECNM.MX**

Cuyo tema es: **EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y DETERMINACION DE ISOTERMAS DE ADSORCION DE AGUA DE LA HARINA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENA FOETIDA)**

35 palabras (mínimo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 días hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(a) interesado(a) tendrá igualmente **5 días** para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM

Siendo el día: 2 de febrero de 2024 se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA
Nombre y Firma del(a) Asesor(a)

DULCE MARIA HERNANDEZ DEGANTE
Nombre y Firma de integrante de la Comisión Revisora

MAYRA NICOLAS GARCIA
Firma del integrante de la Comisión Revisora

MYRIAM SANCHEZ PEREZ
Subdirectora Académica

R08/06/2023
Folio:54

INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN
SUBDIRECCIÓN
ACADÉMICA

F-SAC-18

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Tezcuilán

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

El que suscribe:

JESÚS DANIEL

CHINO

ROJAS

Con Número de
Control **19TE0436**

Pertenece al
Programa **INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
Educativo

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con el
producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE
ADSORCIÓN DE AGUA DE LA HARINA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*).**

Correspondiente al periodo:

AGOSTO-DICIEMBRE 2023

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

**DRA. JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS
ESPINOSA**

ATENTAMENTE


JESÚS DANIEL CHINO ROJAS

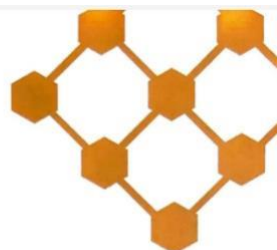
Nombre y firma

Fecha de emisión **01/02/2024**
c.c.p. Subdirección Académica



**RED**

Red Nacional de Actividades
Juveniles en Ciencia y Tecnología



ASUNTO: Acreditación Internacional.

Puebla, Pue., 21 de Mayo de 2021.

La RED Nacional de Actividades Juveniles en Ciencia y Tecnología (RED), el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP) y la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) con el aval del Movimiento Internacional para el Recreo Científico y Técnico de América Latina (MILSET AMLAT), hacen constar que el siguiente:

Proyecto: Crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), para la obtención de harina rica en proteína

Clave: AA-S-PUE-79

Categoría: S

Área: AA

Institución: Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Municipio: Teziutlán

Estado: Puebla

obtuvo una Acreditación Internacional, al participar en la **ExpoCiencias Puebla 2020 Virtual** que se llevó a cabo el **21 de mayo del presente año**, para presentar su proyecto en **ExpoCiencias Chile 2022** que se llevará a cabo en **Chile**.

Atentamente:

M.C. Roberto Faustino Hidalgo Rivas
Coordinador General
RED Nacional de Actividades Juveniles
en Ciencia y Tecnología

L.D.P.P. José Alberto Tenorio González
Coordinador de la RED Nacional en Puebla
Director de ExpoCiencias Puebla 2020 Virtual

21 Sur 1103
Col. Santiago C.P. 72160
Tel. (222) 2299400 Ext. 7595
Puebla, Puebla.





CIBIA XIII | 2022

CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

La Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia

Certifica que el trabajo científico:

Crianza de la lombriz roja (Eisenia foetida), para la obtención de harina rica en proteína

Modalidad Póster

Vega-Colón, Violeta¹, Chino-Rojas, Jesús Daniel¹, Villalobos-Espinosa Julieta del Carmen^{1*}, Cebada, Reyes-José Guillermo²

Fue presentado en el XIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, CIBIA 2022, realizado del 15 al 18 de marzo de 2022, con una intensidad de 39 horas.

Oscar Alfonso Vega Castro
Co-Presidente

Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos - CIBIA XIII



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ciencias
Farmacéuticas y Alimentarias



**EXPO
CIENCIAS
NACIONAL CHILE**
2022

Fundación Club Ciencias Chile, miembro activo del Movimiento Internacional para el Recreo Científico y Técnico de América Latina MILSET AMLAT, en conjunto con la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Central de Chile otorgan el presente:

RECONOCIMIENTO

A: Jesús Daniel Chino Rojas
MÉXICO

Por su destacada participación en EXPO-CIENCIAS NACIONAL CHILE 2022, evento presencial realizado el 25, 26, 27 y 28 de octubre de 2022, en Santiago de Chile.

Ma. Angélica Riquelme V.
Directora
Fundación Club Ciencias Chile

Nathalie Orellana A.
Directora
Comité Científico Revisor FCCCh / UCEN



CLUB CIENCIAS CHILE



Universidad
Central