UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

TESIS

“APLICACIÓN DEL *Tenebrio molitor* EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”

Para obtener el grado de

Maestra en ciencia de los alimentos

PRESENTA:

I.A. Itzel Adriana Cruz Sánchez

Director:

Dr. Sergio Soto Simental

Comité:

Dra. Aurora Quintero Lira

Dra. Maricela Ayala Martínez

Dr. Javier Piloni Martini

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., julio 2025

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL ICAp

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Aplicación del *Tenebrio molitor* en la industria alimentaria", **que desarrolla la estudiante** Itzel Adriana Cruz Sánchez.

Asistentes:

Dr. Sergio Soto Simental
Dra. Maricela Ayala Martínez
Dra. Aurora Quintero Lira
Dr. Javier Piloni Martini

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante, Itzel Adriana Cruz Sánchez, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

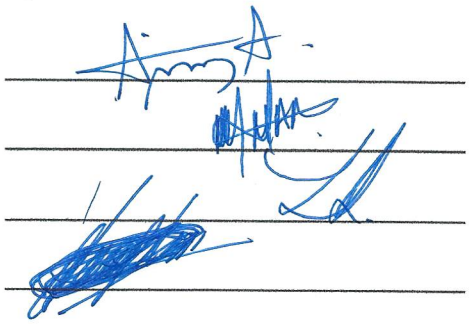
ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 29 de julio de 2025

Dr. Sergio Soto Simental

Dra. Maricela Ayala Martínez

Dra. Aurora Quintero Lira

Dr. Javier Piloni Martini



Dedicatoria

Dedico este trabajo a mí misma, a la persona que fui en cada paso de este camino, con todas sus fortalezas y vulnerabilidades; a quien emprendió este camino con determinación y vocación, enfrentando cada reto como una oportunidad para fortalecerse y seguir adelante.

A la ciencia, que me inspira a mantener viva la curiosidad, a cultivarla con disciplina y a alimentarla con entusiasmo, especialmente en un ámbito tan particular y apasionante como la entomología. Por abrirnos espacios para entender y transformar nuestro entorno, por permitirnos construir puentes de conocimiento que trascienden el presente y por darle sentido a este camino, guiándome a contribuir al crecimiento científico. Que este trabajo pueda convertirse en una referencia para futuras investigaciones y en una base para que otras personas, al igual que yo, encuentren en la investigación un camino para aportar al progreso y al fortalecimiento de nuestro quehacer científico.

Agradecimientos

A mi director de tesis, el Dr. Sergio Soto Simental, quiero expresarle mi más sincera gratitud por su paciencia, su dedicación y su invaluable acompañamiento a lo largo de este camino. Gracias por compartir generosamente su amplio conocimiento, por guiarme con amabilidad y rigor científico, y por brindarme la seguridad que tanto necesité para continuar cuando enfrentaba desafíos e incertidumbres. Aprecio especialmente el interés que mostró en acompañarme en esta investigación sobre el *Tenebrio molitor*, un campo tan particular y lleno de retos, y por aportar ideas que fortalecieron mi crecimiento tanto personal como profesional. Gracias por convertirse en ese empujón que me ayudó a alcanzar esta meta.

A los miembros de mi comité de tesis, quiero expresarles mi más sincero agradecimiento por su paciencia, su calidez y su generosidad al acompañarme en este camino. Gracias por invertir su tiempo y compartir conmigo su experiencia y conocimientos, por guiarme con cada consejo, cada revisión y cada palabra de aliento. Aprecio mucho su dedicación y su disposición para ayudarme a mejorar, para aterrizar ideas y para darle forma a este proyecto tan significativo para mí. Gracias por abrirme las puertas para formar parte de este equipo de investigación y por acompañarme para que esta experiencia fuera tan enriquecedora y especial.

Contenido

Contenido iii

1. Introducción 1

2. Marco teórico 2

2.1 Clasificación taxonómica del T. molitor 2

2.2 Los insectos y su papel ante la seguridad alimentaria y la nutrición 3

2.3 Los insectos que se comen 4

2.3.1 El escarabajo molinero (T. molitor) 5

2.3.2 El ciclo de vida del T. molitor 7

2.3.3 La importancia del T. molitor 8

3 Justificación 15

4 Objetivos 16

4.1 Objetivo General 16

4.2 Objetivos Específicos 16

5 Materiales y Métodos 17

5.1 Obtención de las harinas 17

5.1.1 Materia prima 17

5.2 Procesamiento de las harinas de pupas, larvas y escarabajos 17

5.2.1 Recolección 17

5.2.2 Deshidratado 17

5.2.3 Pulverizado 18

5.3 Procesamiento de la harina de excretas 18

5.3.1 Envasado 18

5.4 Rendimiento de las harinas 18

5.5 Análisis microbiológicos 19

5.6 Propiedades tecnofuncionales 20
5.6.1 Capacidad espumante (CES) 20
5.6.2 Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de absorción de aceite (CAL) 21
5.6.3 Determinación del color 21
5.6.4 Actividad de agua (aw) 21
5.6.5 Análisis químico proximales 21
5.7 Elaboración de las harinas compuestas 23
5.7.1 Diseño experimental 23
5.7.2 Análisis de Textura de masas de la mezcla de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de T. molitor 24
5.8 Análisis estadístico 29
6 Resultados y Discusión 29
6.1 Deshidratado y rendimiento de las harinas 29
6.2 Microbiología de las harinas 30
6.3 Propiedades tecnofuncionales de las harinas 31
6.3.1 Capacidad espumante (CEs) y estabilidad de la espuma 31
6.3.2 Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de absorción de lípidos (CAL) 33
6.3.3 Colorimetría de las harinas 34
6.3.4 aw de las harinas 35
6.3.5 Características químico-proximales de las harinas 36
6.3.6 Resultados del análisis de Textura de masas de la mezcla de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de T. molitor. 38
6.4 Resultados del pan de caja elaborado con la sustitución parcial de harina de trigo por harina de pupas del T. molitor 46

6.4.1 Perfil de textura (TPA) del pan de caja 46
6.4.2 Vida útil del pan de caja desde el enfoque microbiológico 48
6.4.3 Resultados análisis sensorial 50
7 Conclusiones 52
8 Referencias 53

Índice de tablas

Tabla 1. Árbol filogenético de los insectos. 2
Tabla 2. Árbol filogenético del T. molitor. 5
Tabla 3. Especies de los gusanos de la harina 6
Tabla 4. Contenido proximal de proteína de larvas, pupas, adultos y excretas. 9
Tabla 5. Contenido de aminoácidos de larvas, pupas, adultos y excretas. 10
Tabla 6. Contenido proximal de lípidos de larvas, pupas, adultos y excretas. 10
Tabla 7. Perfil de ácidos grasos, se pueden apreciar los ácidos grasos presentes en mayor proporción. 11
Tabla 8. Contenido proximal de cenizas y fibra en larvas, pupas, adultos y excretas. 11
Tabla 9. Ejemplos de algunas investigaciones realizadas con el T. molitor 12
Tabla 10. Condiciones de hábitat del T. molitor 17
Tabla 11. Tiempo de deshidratado para cada estadio 18
Tabla 12. Microorganismo de interés en las harinas 20
Tabla 13. Control y tratamientos del diseño experimental de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de T. molitor. 24
Tabla 14. Ingredientes utilizados en la elaboración del pan de caja adicionado con harina de T. molitor. 26
Tabla 15. Planteamiento del Diseño de vida de anaquel del producto 26
Tabla 16. Microrganismos de interés en el pan de caja. 28
Tabla 17. Rendimiento de cada estadio del T. molitor para la obtención de las harinas. 30
Tabla 18. Carga microbiológica de las harinas obtenidas del T. molitor, en estado de larvas, pupas, adultos y sus excretas. 30
Tabla 19. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de larvas, pupas, escarabajos y excretas. 32
Tabla 20. Capacidad de absorción de agua y capacidad de absorción de aceite de las harinas obtenidas del T. molitor. 33
Tabla 21. Colorimetría de las harinas de T. molitor. 34
Tabla 22. Actividad de agua (aw) de las harinas obtenidas de los tres estadios del T. molitor y de sus excretas. 35
Tabla 23. Contenido químico proximal de T. molitor: larvas, pupas, adultos, excretas. 37

Tabla 24. Resultados de los índices de resiliencia, elasticidad, masticabilidad y cohesividad. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos..... 46
Tabla 25. Resultados del perfil de textura TPA del pan de caja, el análisis se realizó al día 0, 7 y 15 de elaboración del pan. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos..... 48
Tabla 26. Cargas de grupos microbianos durante la vida de anaquel de pan de caja elaborado con harina de pupas de T. molitor..... 49
Tabla 27. Resultados del análisis sensorial del pan de caja elaborado con harina de pupas del T. molitor. 51

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Cinco de las órdenes de insectos más consumidas en México y el mundo. Se puede observar que los coleópteros (escarabajos) son los más consumidos. 4

Ilustración 2. El ciclo de vida del *T. molitor*, se pueden observar de forma gradual toda la metamorfosis que sufre a lo largo de los cuatro estadios. Las imágenes son representativas y no muestran el tamaño real. 7

Índice de gráficos

Gráfico 1. Extensibilidad biaxial de las masas. Las barras punteadas hacen referencia a las Tenacidad "P" y las barras lisas a la extensibilidad. Diferentes letras y números representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤0.05. 40
Gráfico 2. Extensibilidad Biaxial de las masas. Muestra el valor “W” o la energía necesaria para romper la burbuja de la masa. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05. 41
Gráfico 3. Extensibilidad Biaxial de las masas. Muestra el valor “P/L” que es la relación entre la sobrepresión máxima y la longitud de la curva, es adimensional. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05..... 41
Gráfico 4. Extensibilidad Uniaxial de las masas. Las barras punteadas hacen referencia a la resistencia máxima y las barras lisas a la extensibilidad máxima. Diferentes letras y números representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05..... 43
Gráfico 5. Pegajosidad de Chen Hoseney de las masas. Las barras punteadas hacen referencia a la Pegajosidad (N) y las barras lisas a la Cohesión (mm). Diferentes letras y números representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05..... 44
Gráfico 6. Valores de Dureza (N) de las masas. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05. 45

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Formula para calcular el rendimiento de los insectos..... 19
Ecuación 2. Fórmula para calcular la capacidad de formación de espuma de la harina. Donde V1 es el volumen inicial y V2 el volumen después de la agitación. El resultado se expresa en porcentaje (%) 20
Ecuación 3. Fórmula para calcular la estabilidad de la espuma de la harina. Donde V1 es el volumen inicial y V2 el volumen después de la agitación, después de 1 hora. El resultado se expresa en porcentaje (%)..... 20

1. Introducción

El consumo de insectos se ha impulsado debido a que tienen un alto contenido de proteína y ácidos grasos insaturados, aunado a que presentan una baja huella de carbono, lo cual contribuye a la producción de alimentos sustentable (Ravzanaadii *et al*., 2012; FAO, 2013). El consumo de insectos es común en diversos continentes como: Asia, África y América. Sin embargo, uno de los factores que inciden en la aceptación del consumo de insectos es la "neofobia", definida como el rechazo hacia alimentos novedosos, en este caso, insectos. Esta actitud se presenta principalmente en países europeos; no obstante, la percepción al respecto ha comenzado a transformarse. Con el fin de facilitar dicha transición, se están desarrollando e introduciendo al mercado nuevos productos alimenticios que incorporan insectos como ingrediente. Asimismo, se busca optimizar sus características sensoriales y su aplicación gastronómica, con el objetivo de incrementar su aceptación entre los consumidores (López *et al*., 2023). Dentro de los insectos más consumidos en México y el mundo resaltan los coleópteros (Ramos-Elorduy, 2004; FAO, 2013), uno de ellos es el *Tenebrio molitor,* este es empleado como alimento para mascotas, y es considerado una alternativa de fuente de proteínas de piensos para ganado, aves, peces, y para el consumo humano (Oliveira *et al*., 2023). La harina que se obtiene a partir de *T. molitor* se ha utilizado en diversos productos alimenticios, siendo la harina de larvas el más utilizado, por ejemplo, la adición de esta harina sobre la caracterización de tortillas de harina de maíz (Aguilar-Miranda *et al*., 2002), o bien sobre las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y texturales de salchichas (Kim *et al*., 2016), en productos de panadería como bizcochos donde se evaluaron las propiedades de textura, fisicoquímicas y la aceptación sensorial (Kowalski *et al*., 2022) y en un tofu adicionado con harina y derivados proteicos donde se evaluaron las propiedades estructurales y reológicas (Oh y Kim, 2023). El uso del *T. molitor* en la industria alimentaria es muy versátil y se presenta como una solución nutricionalmente rica y sostenible, sin embargo, existe poca información sobre las propiedades reológicas de las masas compuestas con harina de larvas de estos insectos.

2. Marco teórico

2.1 Clasificación taxonómica del T. molitor

En el árbol filogenético de la vida, los insectos, al igual que los arácnidos, crustáceos y miriápodos, Tabla 1, pertenecen al filo Arthropoda, cuyos integrantes se caracterizan por poseer un cuerpo segmentado y articulado, generalmente cubierto por un exoesqueleto rígido compuesto de quitina, que proporciona protección y soporte para la locomoción (Pérez, 2022).

Tabla 1. Árbol filogenético de los insectos.

Dominio	*Eukarya*
Reino	*Animalia*
Filo	*Arthropoda*
Subfilo	*Hexapoda*
Clase	*Insecta*

Fuente: Ramos-Elorduy (2004).

Los insectos son de las formas dominantes y más diversas de vida animal del planeta, pueden ocupar sistemas dulceacuícolas y dominar todos los entornos y hábitats de la Tierra (Ramos-Elorduy, 2004). La dominancia de los insectos se refiere a la diversidad; su basto número de especies e individuos, y a la biomasa total dentro de un área determinada. Se calcula que el número conocido de insectos va de cinco a diez millones de especies, lo cual es sólo una fracción del número total estimado, cabe mencionar que la mayoría no se han descubierto ni descrito científicamente. Gracias a esta diversidad y abundancia los insectos desempeñan papeles esenciales y críticos en los ecosistemas terrestres y de agua dulce, pueden realizar actividades como la descomposición de plantas y cadáveres de animales, el reciclaje de nutrientes, la formación del suelo y la polinización entre otras funciones (Allison *et al*., 2023), también se caracterizan por su importancia para servir como alimento en la vida silvestre, para aves, peces, anfibios y reptiles, incluso los humanos llegan a consumir insectos, actividad que se conoce como entomofagia (Starr *et al*., 2018). En el siglo pasado

la etnoentomología estaba definida como todas las formas de interacción entre los insectos y el hombre especialmente con sociedades humanas primitivas y no industrializadas, de acuerdo a Hogue en 1987. Hoy en día los insectos continúan jugando un papel trascendental ya en la sociedad industrializada (Ramos-Elorduy, 2004).

2.2 Los insectos y su papel ante la seguridad alimentaria y la nutrición

Actualmente, la evaluación mundial de la seguridad alimentaria y la nutrición indica que el hambre no ha aumentado a nivel global; sin embargo, permanece por encima de los niveles previos a la pandemia ocasionada por el coronavirus (COVID-19) y aún está lejos de cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) objetivo 2-Hambre cero (FAO, 2023). En este contexto, ya desde 2013, la FAO —en su publicación anual y en colaboración con la Universidad de Wageningen, en los Países Bajos— señaló que el consumo de insectos representa una alternativa relevante por tres razones principales:

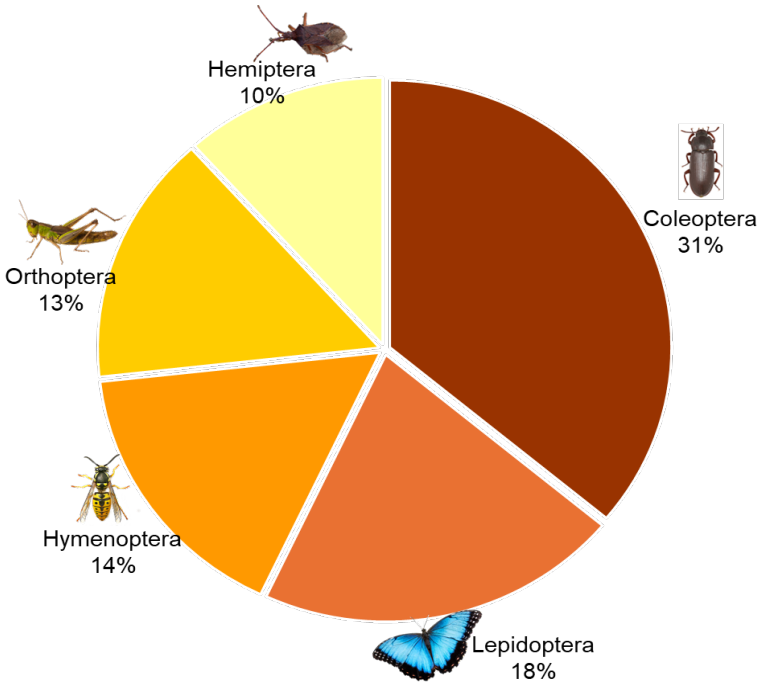
1.- En la salud: diversas especies de insectos comestibles presentan un perfil nutricional destacable, ya que son fuentes ricas en proteínas de alta calidad, ácidos grasos insaturados y minerales esenciales como calcio, hierro y zinc. Debido a estas características, se consideran una alternativa viable y sostenible frente al consumo de otras fuentes tradicionales de proteína animal, como el pollo, el cerdo e incluso el pescado. Cabe destacar que el consumo de insectos no es una práctica reciente, sino que forma parte de las tradiciones alimentarias de numerosas culturas alrededor del mundo.

2.- En el ambiente: los insectos, a comparación del ganado convencional, son bajos emisores de gases que promueven el efecto invernadero, a la par, no se requiere la explotación de suelos ni grandes cantidades de agua para su crianza.

3.- Factores socio económicos: la recolección y/o la cría de insectos se presenta como una fuente de ingresos económicos para los sectores más vulnerables de la sociedad, tanto para población urbana como rural. La crianza también puede ser de baja o alta tecnología, según la inversión que se pueda realizar (FAO, 2013).

2.3 Los insectos que se comen

El consumo de insectos es común en Asia, África y Sudamérica, y relativamente desconocido en sociedades occidentales como Europa y América del Norte. Uno de los principales factores que influyen en la aceptación de los insectos comestibles es la "neofobia", presente principalmente en países occidentales (López *et al*., 2023). Dentro de las órdenes de insectos más consumidas en México y el mundo resaltan: Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Orthoptera y Hemiptera (Ramos-Elorduy,2004; FAO, 2013).



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 1. Cinco de las órdenes de insectos más consumidas en México y el mundo. Se puede observar que los coleópteros (escarabajos) son los más consumidos.

Como se puede observar en la Ilustración 1 los coleópteros son el orden más consumido, teniendo 468 subespecies registradas a nivel mundial (Ramos-Elorduy, 2004) un ejemplo de ellos y en el cual se centra esta investigación es el *T. molitor* o también conocido como gusano amarillo de la harina o incluso como el Escarabajo Molinero.

2.3.1 *El escarabajo molinero* (*T. molitor*)

El *T. molitor,* Tabla 2, es una de tres especies de los gusanos de la harina, Tabla 3, al hablar de los gusanos de la harina, se hace referencia a la etapa larvaria de los coleópteros *Tenebrionidae* (Selaledi *et al*., 2020), son los llamados escarabajos nocturnos, de las tinieblas o de la oscuridad, su nombre científico proviene del latín Tenebra= tiniebla, haciendo referencia a sus colores oscuros y a sus hábitos de vida (Arias, 2018).

Tabla 2. Árbol filogenético del T. molitor.

Reino	*Animalia*
Filo	*Arthropoda*
Subfilo	*Hexapoda*
Clase	*Insecta*
Orden	*Coleoptera*
Familia	*Tenebrionidae*
Género	*Tenebrio*
Especie	*Molitor*

Tabla 3. Especies de los gusanos de la harina

Zophobas atratus **(gusano gigante de la harina)**	*T. molitor* (gusano amarillo de la harina)	*Alphitobius diaperinus panzer* (gusano menor de la harina)

El *T. molitor* es originario de Europa, actualmente se encuentra distribuido en todos los lugares del planeta donde esté presente la actividad humana, es considerado una plaga que daña a los cereales, granos y harinas almacenadas, incluso puede alimentarse de carne en descomposiciób, plumas y madera (Ramos-Elorduy *et al*., 2002). Principalmente son usados como alimento para mascotas, y las investigaciones de los últimos años los catalogan como una alternativa de fuente de proteínas sostenible, pueden ser empleados en piensos para ganado, aves y peces, y el consumo humano, gracias a las proteínas de alta calidad y grasas saludables que contiene, cabe mencionar que, la etapa de larva es el estadio más explotado (Selaledi *et al*., 2020).

2.3.2 El ciclo de vida del T. molitor

El *T. molitor* que se caracteriza por ser una especie holometábola, Ilustración 2, su ciclo de vida consta de cuatro etapas o estadios: huevo, larva, pupa y escarabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 2. El ciclo de vida del T. molitor, se pueden observar de forma gradual toda la metamorfosis que sufre a lo largo de los cuatro estadios. Las imágenes son representativas y no muestran el tamaño real.

El ciclo de vida llega a tener una duración de 6 a 9 meses, y se puede dividir en cuatro etapas: huevecillo, larva, pupa y escarabajo, cada etapa posee características particulares y tiempos de duración diferentes. Los huevecillos se ovopositan al fondo del sustrato y se caracterizan por ser alargados y blancos; llegan a medir menos de 1.5 mm, los huevecillos tienen una tasa de eclosión del 70 % cuando se encuentren entre 17.5 y 27.5ºC tardando de 7 a 15 días en eclosionar (Kim *et al*., 2015; Arias, 2018; Ong *et al*., 2018; Díaz et al.,2024). Posteriormente surgen las larvas que se caracterizan por ser diminutas, alargadas y de color blanco, con patas torácicas en los extremos; en esta etapa las larvas pasaran por procesos donde la piel vieja será removida por piel nueva, a lo largo de estos procesos la longitud del cuerpo aumentara gradualmente, entre cada muda las larvas lucirán de color blanco y de complexión blanda, y

al tiempo de crecer se irán tornando de un color amarillento con franjas oscuras en los extremos, pueden ocurrir de 9 a 20 mudas de piel. Las larvas llegarán a alcanzar una medida que va desde los 12 a 30 mm, una vez finalizada esta etapa las larvas comenzaran a encogerse adquiriendo forma de "C" comenzando un periodo de inactividad (Park *et al*., 2014; Arias, 2018; Ong *et al*., 2018; Selaledi *et al*., 2020).

En este estadio el insecto se caracteriza por estar en un estado de inactividad, es decir no se alimenta ni genera desechos, esporádicamente su cuerpo presenta movimientos giratorios. Esta etapa puede durar de 6 a 20 días, y se ha documentado una duración de 7 a 9 días a una temperatura de 25ºC, las pupas llegan a medir entre 15 y 19 mm (Park *et al*., 2012; Vega, 2019; Selaledi *et al*., 2020).

En un inicio el escarabajo es de color blanco y textura blanda, gradualmente irá oscureciendo en tonos castaños negruzcos, en esta etapa puede durar de 16 a173 días. Llega a medir entre 12 y 17 mm de longitud por 4 mm de ancho. Los adultos pueden comenzar a aparearse y a poner huevos a los 4 o 5 días, una vez que emergieron de la etapa de pupa, en condiciones naturales la hembra adulta (escarabajo) es capaz de poner de 300 a 600 huevecillos (Park *et al*., 2012; Arias, 2018; Selaledi *et al*., 2020).

2.3.3 La importancia del T. molitor

Ante las alteraciones negativas que sufre el medio ambiente y la necesidad de alimentar a una población en constante crecimiento, la industria alimentaria se ve en la necesidad de buscar nuevas fuentes de proteínas, como las provenientes de los insectos, y uno de ellos es el *T. molitor*, el cual es el primer insecto regulado dentro del Reglamento de la Unión Europea desde el 2021. Diversos estudios han demostrado que el *T. molitor* posee alto contenido de proteínas, Tabla 4; incluso sus excretas, poseen un contenido alto para ser un producto de desecho, lo que indica que pueden ser aprovechadas como suplemento adicional en el proceso de reciclaje de alimentos (Ravzanaadii *et al*., 2012). Actualmente las excretas son utilizadas como abono en la industria agrícola (Arias, 2018).

Tabla 4. Contenido proximal de proteína de larvas, pupas, adultos y excretas.

Componente	Proteína	Fuente
Larvas	46.44%	
Adultos	63.34%	(Ravzanaadii *et al*., 2012)
Excretas	18.51%	
Pupas	57.78%	(Oliveira *et al*., 2023)

Es importante aclarar que la gran cantidad de nutrientes, por ejemplo, la proteína, no garantiza que el alimento sea de alta calidad, para eso se debe determinar la concentración y que aminoácidos están presentes en la proteína, así como la digestibilidad de los mismos, al cumplir con estos requerimientos hablamos de una proteína de alta calidad (Huang *et al*., 2018). En el caso de los insectos, y en comparación con las fuentes cárnicas y vegetales, se ha demostrado que su contenido proteico es de alta calidad, debido a su elevado valor nutricional y a un perfil amplio de aminoácidos esenciales. En cuanto a la digestibilidad, diversos estudios realizados en larvas indican que presentan una buena capacidad de digestión (Yi *et al*., 2016; Castro *et al*., 2018). En el caso del *T. molitor*, se ha demostrado que posee todos los aminoácidos esenciales, Tabla 5, cabe mencionar que la etapa de larvas son las más estudiadas.

Tabla 5. Contenido de aminoácidos de larvas, pupas, adultos y excretas.

Aminoácido esencial (g/100g proteína)	Larvas	Escarabajos	Excretas	Pupas
Fenilalanina	1.759	1.538	0.198	2.23
Histidina	1.527	1.71	0.438	1.73
Isoleucina	3.556	3.911	0.33	1.74
Leucina	3.405	5.165	0.368	3.25
Lisina	2.906	2.227	0.193	1.68
Metionina	0.672	0.547	0.065	0.83
Treonina	1.807	2.153	0.276	1.89
Valina	2.439	3.368	0.253	2.53
Triptófano	1.3	1.1	ND	ND
Fuente	(Ravzanaadii *et al*., 2012)			(Oliveira *et al*., 2024)

Dentro de los componentes que se encuentran en mayor proporción, Tabla 6, se tiene a los lípidos, el contenido promedio en coleópteros 33.40 %, siendo mayor en estado larvario y de pupa (Rumpold & Schluter, 2012). Se observa, Tabla 7, que predomina la presencia de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, como el ácido oleico y el ácido linoleico, respectivamente.

Tabla 6. Contenido proximal de lípidos de larvas, pupas, adultos y excretas.

Componente	Larvas	Adultos	Excretas	Pupas
Grasa	32.7 %	7.59%	1.3 %	31.21%
Fuente	(Ravzanaadii *et al*., 2012)			(Oliveira *et al*., 2024)

Tabla 7. Perfil de ácidos grasos, se pueden apreciar los ácidos grasos presentes en mayor proporción.

Ácido graso (g/100g de ácidos grasos totales)	**Larvas**	**Pupas**	**Adultos**	**Excretas**
Ácido Oleico (C18:1)	43.17	NR	36.74	22.29
Ácido Linoleico (C18:2)	30.23	NR	32.46	47.19

Fuente: (Ravzanaadii *et al*., 2012). *NR=no reportado

Los componentes que podría considerarse en menor proporción, pero no por ello menos importantes esta la fibra, las cenizas y los carbohidratos, cabe mencionar que, en el caso de los coleópteros, como el *T. molitor* los carbohidratos se encuentran en menor concentración a comparación de otras especies, Tabla 8.

Tabla 8. Contenido proximal de cenizas y fibra en larvas, pupas, adultos y excretas.

Componente	**Pupas**	**Larvas**	**Adultos**	**Excretas**
Cenizas	3.63%	2.86%	3.56 %	3.63%
Fibra	NR	4.58%	19.96%	5.1%
Fuente	(Oliveira *et al*., 2024)	(Ravzanaadii *et al*., 2012)		

*NR= no reportado

Con lo que respecta a los minerales, cabe resaltar mayor presencia de potasio, fosforo, sodio, magnesio y calcio (Ravzanaadii *et al*., 2012; Oliveira *et al*., 2024), en los tres estadios y las excretas. Con lo que respecta al contenido de fibra, se observa que está presente en mayor proporción en los adultos, y esto, es asociado al contenido de quitina, la cual está presente en los exoesqueletos de los insectos y es considerada una fibra dietética insoluble (Kvasnička *et al*., 2023).

Tabla 9. Ejemplos de algunas investigaciones realizadas con el *T. molitor*

Nombre de la investigación	¿Qué se hizo?	Fuente
Características de la tortilla de harina de maíz complementada con harina de larvas del *T. molitor*	Se preparó harina de larvas la cual tuvo 58.4 % de proteína, esta proteína fue rica en aminoácidos como: Phe, y Trp. El perfil de ácidos grasos mostró altos contenidos de ác. oleico con 19.8% y ác. linoleico con 8.51%. Las tortillas suplementadas aumentaron 2% su contenido de proteína, los consumidores percibieron mejores características funcionales y de manera general mostraron buena aceptación.	(Aguilar-Miranda *et al*., 2002)
Extracción y caracterización del aceite de las larvas del *T. molitor*	La investigación consistió en extraer el aceite de las larvas, este presento 51.33% de ác. oleico y ác. linoleico en 22.47%. Lo cual lo hace muy ideal para el consumo humano.	(Pantoja & Untiveros, 2010)
Larvas de gusanos de la harina y pupas de gusanos de seda pretratadas como nuevo ingrediente proteico en salchichas en emulsión	La investigación consistió en determinar los efectos de la adición de harinas pretratadas de *T. molitor* y pupas de *Bombyx mori* sobre las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y texturales de salchichas. El estudio demostró que las harinas de ambos insectos no tuvieron impactos negativos en las propiedades nutricionales y tecnológicas de las salchichas, los investigadores concluyen que estas harinas se pueden emplear como un nuevo ingrediente proteico en la elaboración de productos cárnicos emulsionados.	(Kim *et al*., 2016)
Nuevos abonos a partir de	Las excretas provenientes del *T. molitor* poseen cualidades como nutrientes y alto contenido de	(Arias, 2018)

excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (*T. molitor).*	materia orgánica, lo que lo convierte en ideal para su uso como abono orgánico. Los excrementos también poseen quitina, un polisacárido con cualidades bioestimulantes, fitofortificantes y biopesticidas de organismos fitopatógenos. Además, la microbiota asociada a sus intestinos, y que acompaña sus deposiciones, puede contener importantes microrganismos que son beneficiosos para las plantas.	
Caracterización del quitosano extraído del escarabajo gusano de la harina (*T. molitor*, *Zophobas morio*) y del escarabajo rinoceronte (*Allomyrina dichotoma*) y sus actividades antibacterianas.	Se extrajo quitina y posteriormente el quitosano de las tres especies de insectos mencionadas anteriormente. El quitosano extraído presento mayor rendimiento en comparación con otros insectos. También se demostró que el quitosano proveniente del *T. molitor*, posee actividad antimicrobiana contra patógenos como *S. aureeus, B. cereus, L. monocytogenes y E. coli.* Es importante mencionar que el quitosano proveniente del *T. molitor* no es tóxico y es ecológico, lo cual abre un campo de posibilidades para explotarlo tanto en la industria de alimentos, como en la medicina, entre otras.	(Shin *et al*., 2019)
**Efecto de la adición de harina de insecto comestible procedente del gusano amarillo de la harina (*T.*	Se elaboraron bizcochos sustituyendo en 10 y 20% la harina de trigo por harina de larvas de *T. molitor.* Esto afecto el nivel de aceptación por parte del consumidor, en cuanto a sabor y textura, cabe mencionar que esta aceptación no fue muy inferior a los bizcochos de harina de trigo. Esta sustitución aumento el valor	(Kowalski *et al*., 2022)

***molitor*) sobre la aceptación sensorial y las propiedades fisicoquímicas y texturales en un bizcocho**	nutricional, al aumentar el contenido de proteína y de aminoácidos esenciales en los bizcohos, así mismo, en su perfil de ácidos grasos predominaron los ácidos grasos monoinsaturados.	
Influencia del gusano de la harina (larvas de *T. molitor*) y sus derivados proteicos sobre las propiedades estructurales y reológicas del tofu.	Se estudiaron los efectos de la incorporación del gusano de la harina al tofu, donde se sustituyó harina de soja por: a) harina de larvas, b) aislado de proteína y c) hidrolizado de proteína, todos del *T molitor*. Esta sustitución impactó significativamente a las propiedades estructurales y reológicas del tofu, siendo el aislado de proteína el que contribuyo de manera positiva a la resistencia del gel, debido a la formación de grandes agregados.	(Oh & Kim, 2023)
Características de calidad y envejecimiento del pan blanco fortificado con harina **del *T. molitor* hidrolizado con lisozimas**	El estudio examino la hidrolisis de quitina utilizando lisozimas para mejorar las características de calidad del pan suplementado. Se obtuvo un aumento del volumen y suavidad del pan, la evaluación sensorial indico un efecto positivo sobre la aceptabilidad del producto.	(Pyo *et al*., 2024)

3 Justificación

El uso del *T. molitor* en la industria alimentaria es muy versátil y se presenta como una solución nutricionalmente rica y sostenible, que bien puede ayudar a resolver los desafíos actuales relacionados con la seguridad alimentaria y la preservación del medio ambiente. Su alto contenido proteico lo convierte en una excelente fuente de nutrientes, especialmente para personas vulnerables como niños, mujeres embarazadas, adultos mayores o para personas que siguen dietas con restricciones proteicas o simplemente a personas que buscan alternativas saludables. Su perfil nutricional es muy basto, ya que incluye todos los aminoácidos esenciales, grasas saludables, vitaminas y minerales, lo que lo hace más atractivo como alimento. Desde el punto de vista de la sustentabilidad, la crianza del *T. molitor*, ayuda a reducir la explotación de recursos naturales como el agua y la explotación de suelos; también es bajo emisor de gases del efecto invernadero, en comparación con la ganadería tradicional. El *T. molitor* tiene un ciclo de vida corto y tiene la capacidad de consumir residuos orgánicos, lo que lo convierte, una vez más, en una opción amigable con el medio ambiente.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Caracterizar diferentes harinas obtenidas de tres estadios del ciclo de vida del *T. molitor*, así como, de las excretas generadas durante su crianza, con la finalidad de aplicarlos en el desarrollo de productos alimentarios.

4.2 Objetivos Específicos

1.- Determinar las características fisicoquímicas y propiedades tecnofuncionales de las harinas obtenidas de la crianza del *T. molitor*, con el propósito de desarrollar un producto alimentario.

2.- Analizar el comportamiento reológico de las masas obtenidas de la formulación de harinas compuestas por la sustitución parcial de harina de trigo por harina de *T. molitor*, con el propósito de sentar las bases para el desarrollo de un producto alimentario.

3.- Emplear la formulación con mejores características reológicas para la elaboración de un pan de caja.

5 Materiales y Métodos

5.1 Obtención de las harinas

5.1.1 Materia prima

Se utilizó el *T. molitor* en tres estadios de vida (pupa, larva y escarabajo), más las excretas producidas durante su crianza, estos fueron obtenidos del Laboratorio de Nutrición Animal del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Su crianza consistió en un hábitat acondicionado a diferentes temperaturas, Tabla 10, de acuerdo a las necesidades de cada estadio, para su alimentación se empleó salvado de trigo y zanahoria como fuente de agua.

Tabla 10. Condiciones de hábitat del *T. molitor*

Estadio	Temperatura (ºC)	Humedad Relativa (%)
Pupas	25	
Larvas	28	55 a 56
Escarabajos	30	

5.2 Procesamiento de las harinas de pupas, larvas y escarabajos

5.2.1 Recolección

Los insectos se recolectaron en la etapa adulta; larvas de 110 a 120 días, escarabajos de 100 a 150 días, y las pupas se recolectaron dentro de las 24 a 48 h posterior al inicio de este estadio. Los insectos se colocaron en bolsas herméticas tipo Ziploc® y fueron sometidos a congelación a -18ºC.

5.2.2 Deshidratado

Posteriormente fueron deshidratados en un horno de microondas (General Electric, JES1153SFE, México) con potencia de salida de 1000 W y 60 Hz de frecuencia a diferentes tiempos, Tabla 11; siguiendo la técnica empleada por Crespo 2002; la cual consistió en colocar 100 g de muestra en un recipiente extendido de vidrio y se introdujo al horno de microondas por 5 min, posteriormente se retiró del horno y se registró el peso, nuevamente

se volvió a introducir al horno de microondas pero por 3 min, nuevamente se registró el peso, este último paso se realizó hasta que la muestra quedo a peso constante, cabe mencionar que durante el tiempo de tratamiento se colocaron dos vasos de precipitados con 50 mL de agua destilada cada uno, el agua se fue cambiando cada período, para evitar su ebullición.

Tabla 11. Tiempo de deshidratado para cada estadio.

Estadio	**Tiempo (min)**
Pupas	17
Larvas	11
Escarabajos	17

5.2.3 Pulverizado

Los insectos deshidratados fueron procesados en un molino ciclónico UDY (Udy Corporation, 3010-019, Estados Unidos).

5.3 Procesamiento de la harina de excretas

Las excretas se recolectaron de la parte inferior de los contenedores de los insectos y fueron pasadas por un tamiz de acero del No. 60 (W.S., Tyler, Estados Unidos) con un poro de diámetro de 0.246 mm.

5.3.1 *Envasado*

Las cuatro harinas (pupas, larvas, escarabajos y excretas) fueron envasados en bolsas herméticas tipo Ziploc®, y recubiertos con una capa de aluminio, y se almacenaron a 4ºC.

5.4 Rendimiento de las harinas

El rendimiento de la harina obtenida de los insectos se calculó mediante la ecuación 1.

Ecuación 1. Fórmula para calcular el rendimiento de los insectos

$$\text{Rendimiento del harina} = \frac{\text{Peso de la materia prima despues de pulverizar (g)}}{\text{Peso de la materia prima antes de congelar (g)}} \text{ x } 100$$

5.5 Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos se realizaron para determinar la presencia de microorganismos de interés en las harinas, Tabla 12, siguiendo el protocolo de la normatividad mexicana:

- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa, que establece el procedimiento para cuantificar bacterias aerobias mesófilas mediante el recuento en medios de cultivo sólidos incubados bajo condiciones aeróbicas.
- NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos, que describe los métodos para identificar y cuantificar microorganismos indicadores como coliformes, así como patógenos como *Salmonella spp*., *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* en alimentos, bebidas y agua.
- NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos, que detalla la técnica para la enumeración de mohos y levaduras viables mediante la siembra en agar acidificado e incubación a temperatura controlada.

Para la determinación de los tres patógenos se pesó 0.5 gramos de muestra y se colocó en un tubo de ensayo con 4.5 mL de agua peptonada, el tubo de agito con un vortex y se realizaron tres diluciones, posteriormente se inocularon los medios ya solidificados con 1 mL de dilución y se sembró con una varilla en “L” iniciando de la dilución -3 a -1, los medios se incubaron a diferentes tiempos, Tabla 12, finalmente se realizó el conteo de UFC. Todas las técnicas se realizaron por duplicado.

Tabla 12. Microorganismo de interés en las harinas.

Microorganismo	Medio	Tiempo incubación (h)
Enterobacterias	MacConkey	24
Mesófilos aerobios	Cuenta estándar	48
Hongos y levaduras	Papa Dextrosa Sabouraud	72

5.6 Propiedades tecnofuncionales

5.6.1 Capacidad espumante (CES)

Se añadieron 2 g de harina y 50 mL de agua destilada a una probeta de 100 mL, posteriormente se agitó a velocidad constante de forma manual por 30 s (Chaparro *et al*., 2014). La CES se calculó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Fórmula para calcular la capacidad de formación de espuma de la harina.

$$\text{CES}\ (\%) = \frac{(V_2 - V_1)}{V1} \text{x}\ 100$$

Donde V1 es el volumen inicial y V2 el volumen después de la agitación. El resultado se expresa en porcentaje (%)

La estabilidad de la espuma se determinó 1 h después mediante la siguiente formula:

Ecuación 3. Fórmula para calcular la estabilidad de la espuma de la harina.

$$EES\ (\%) = \frac{(V_2 - V_1)}{V_1} x\ 100$$

Donde V1 es el volumen inicial y V2 el volumen después de la agitación, después de 1 hora. El resultado se expresa en porcentaje (%)

5.6.2 Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de absorción de aceite (CAL)

Se determinó siguiendo el método de Beuchat, 1977, la cual consistió en pesar 1 g de muestra y se añadieron 10 mL de agua destilada, con un vortex se homogenizo por 30 s, después se dejó reposar por 30 min, posteriormente se centrifugo a 3000 rmp (rotor 20.6 cm de diámetro) en una centrifuga refrigerada (Hermle Z326, Gosheim, Alemania) por 30 min. Finalmente se decantó el sobrenadante en una probeta de 10 mL y se reportó el volumen de agua absorbida por g de muestra (Chaparro *et al*., 2014).

En el caso de la CAL, se realizaron los mismos pasos, pero en lugar de añadir agua, se utilizó aceite de cártamo (Coral International SA de CV, S.L.P., México) con una densidad de 0.927 g/mL.

5.6.3 Determinación del color

El color se determinó con un colorímetro inteligente (Shenzhen Linshang Co., LTD, modelo LS171; Shenzhen, Guangdong, China), obteniéndose las coordenadas de color CIE L* (brillo), a* (enrojecimiento) y b* (amarillento); cada harina se midió por triplicado, siguiendo las instrucciones del fabricante.

5.6.4 Actividad de agua (aw)

Se determinó con un medidor de actividad de agua portátil HygroPalm (Rotronic Ag, 60046337, Bassersdorf, Suiza), cada harina se midió por triplicado, siguiendo las instrucciones del fabricante.

5.6.5 Análisis químico proximales

Para los análisis químico proximales se aplicaron las siguientes técnicas oficiales de AOAC:

- AOAC (2015), Método 942.05 – Determinación de Cenizas: esta técnica cuantifica el contenido inorgánico residual mediante combustión en mufla. Se pesaron 2 g de muestra en crisoles de porcelana, con la ayuda de un mechero se calcinó, posteriormente se incineró a

550 °C durante 4 horas, finalmente la muestra se enfrío en un desecador durante 15 minutos y se registra el peso final. La prueba se realizó por triplicado. El contenido de cenizas se expresa como porcentaje de la pérdida de masa gravimétrica respecto al peso inicial.

- AOAC (2015), Método 934.01 – Determinación de humedad: el contenido de agua se determina mediante secado en horno a temperatura controlada hasta peso constante. Se pesaron 10 g de muestra en una charola de aluminio a peso constante, posteriormente se colocaron en un horno de secado durante 2.45 h a 180°C, posteriormente se retiraron del horno y se dejaron enfriar en un desecador por 15 minutos, se registró el peso y nuevamente se colocaron en el horno de secado durante 15 minutos a 180°C, pasado ese tiempo se dejaron enfriar en el desecador durante 15 minutos y se registró el peso. La prueba se realizó por triplicado. La diferencia de peso se expresa como porcentaje de humedad de la muestra intacta (pérdida por deshidratación).

- AOAC (1990), Método 920.39 – Determinación del contenido lipídico por Soxhlet: consiste en la extracción gravimétrica de la fracción lipídica utilizando éter de petróleo en un extractor Soxhlet. Se colocaron 10 gramos de muestra (libre de humedad) en un cartucho de celulosa, el cual, con la ayuda de un soporte, se introdujo en un vaso soxhlet (a peso constante), el vaso se colocó en el equipo soxhlet y se programó el equipo siguiendo las indicaciones del fabricante para llevar a cabo la extracción continua durante 4 h, tras la extracción se evaporó el solvente y se pesó para calcular el contenido de grasa. La prueba se realizó por triplicado.

- AOAC (2015), Método 962.09 – Determinación de fibra cruda: se basa en digestiones secuenciales con ácido sulfúrico diluido y una solución alcalina para eliminar proteínas, almidones, azúcares y grasas. Se pesaron 10 gramos de muestra (sin humedad ni grasa) y se colocó en un vaso de precipitados tipo Berzelius, se le añadió 200 mL de solución de ácido sulfúrico 0.255 N, y se colocó en el equipo de extracción, durante 30 minutos en ebullición para la primer digestión, posteriormente la muestra se retiró, se filtró y se enjuago con agua destilada hasta pH neutro, nuevamente se coloco la muestra en el vaso de precipitados tipo Berzelius y se le añadió 200 mL de solución de hidróxido de sodio 0.313 N, se llevo a ebullición durante 30 minutos, nuevamente se retiró la muestra se filtro y se enjuago con 25 mL de solución de ácido sulfúrico 0.255 N, después con 150 mL de agua destilada (en tres

porciones) y finalmente con 25 mL de alcohol. La muestra filtrada y sin exceso de agua se coloco en un crisol y se introdujo al horno de secado durante 2 h a 180°C, posteriormente se registro el peso y se coloco en la mufla durante 30 minutos a 600°C, finalmente se registró el peso. La prueba se realizó por triplicado. El residuo se incinera para corregir el contenido de cenizas y se cuantifica gravimétricamente como fibra cruda

- AOAC (2015), Método 2001.11 – Determinación de proteína por método Kjeldahl: Esta técnica involucra tres etapas: digestión con ácido sulfúrico concentrado y catalizador de cobre para convertir el nitrógeno proteico en sulfato de amonio; destilación alcalina por arrastre de vapor liberando amoníaco; y valoración titrimétrica con ácido estándar, calculando el nitrógeno total. Se peso 1 gramo de muestra (se realizó por triplicado) y se envolvió en plástico film, la muestra se colocó en un tubo de digestión, al cual se le añadió una pastilla digestora y 15 mL de ácido sulfúrico, se colocó en el equipo Kjeldahl. Posteriormente el tubo de digestión (que incluía a la muestra) se colocó en el destilador, y se colocó un matraz Erlenmeyer que contenía 50 mL de ácido bórico y 4 gotas de rojo de metilo, se realizó la destilación siguiendo las indicaciones del fabricante. Finalmente, el contenido del matraz Erlenmeyer se tituló con 0.1 N de ácido sulfúrico. La prueba se realizó por triplicado. Para la determinación matemática del contendido de proteína se utilizó el factor de conversión de 6.25.

El contenido de carbohidratos se estimó por diferencia, calculado como 100 % menos la suma de cenizas, humedad, éter extracto, fibra cruda y proteína

5.7 Elaboración de las harinas compuestas

5.7.1 Diseño experimental

Se propusieron tres tratamientos con diferentes porcentajes de sustitución parcial de harina de trigo por harina de *T. molitor*, Tabla 13.

Tabla 13. Control y tratamientos del diseño experimental de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de *T. molitor*.

Porcentaje de harina (%)	Control		Tratamiento							
			Larvas		Pupas		Escarabajo		Excretas	
	HT	HTm	HT	HTm	HT	HTm	HT	HTm	HT	HTm
	G									
2.5	100	0	97.5	2.5	97.5	2.5	97.5	2.5	97.5	2.5
5	100	0	95	5	95	5	95	5	95	5
10	100	0	90	10	90	10	90	10	90	10

Nota. HT=harina de trigo y HTm= harina de T. molitor.

5.7.2 Análisis de Textura de masas de la mezcla de la sustitución parcial de harina de trigo por harina *de T. molitor*

5.7.2.1 Extensibilidad Biaxial

Se utilizó el medidor de textura Texture Analyzer Corp., modelo TA.TX plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) al cual se acopló el sistema de inflado de masa Dobraszczyk/Roberts modelo D/R2. Se preparó una masa con 200 g de harina de cada tratamiento y 121 mL de solución de NaCl al 2,5 % (p/v). La masa se extendió hasta obtener una placa de 8 mm de espesor y con un cortador de acero inoxidable (55 mm de diámetro) se obtuvieron siete piezas, cada una se presionó durante 30 s. Luego se apilaron las 7 muestras en una torre y se cubrió el primer retenedor con un disco acrílico para evitar la deshidratación de la masa. Posteriormente las muestras se dejaron reposar durante 30 min. Finalmente, se colocaron sobre la plataforma de inflado del equipo, donde se inyectó aire a presión constante para formar una burbuja hasta estallar (Método 54-30.02 AACC,2000).

5.7.2.2 Extensibilidad uniaxial

Se utilizó el analizador de textura Brookfield CT3™ (Ametek Brookfield, Middleboro, EE. UU.). Se preparó una masa con 8 g de harina de cada tratamiento y 5 mL de agua destilada y se colocó en la prensa Kieffer (Kieffer, 1998) se dejó reposar por 30 min. Posteriormente las tiras de masa se retiraron de la prensa. Cada tira de masa se colocó sobre la placa de Kieffer

para ser alargada utilizando la sonda TA53, moviéndose a una velocidad constante de 0.5 mm/s hasta romperse, según el método reportado (Método 54-10.01 AACC,2000).

5.7.2.3 Pegajosidad de Chen-Hoseney

Se preparó una masa con 4 g de harina de cada tratamiento y se mezcló con 2.5 mL de agua destilada y se transfirió a un cilindro de acero inoxidable. Luego se extruyó la masa a través de las aberturas del tamiz (malla 14) girando el émbolo. Luego se colocó una cubierta acrílica sobre la celda para minimizar la pérdida de humedad de la masa. Para esta prueba se utilizó el medidor de textura Texture Analyzer Corp., modelo TA.TX plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), al que se le conectó una sonda acrílica de 25 mm de diámetro. La velocidad de prueba fue de 0.5 mm/s (Chen, 1995).

5.7.2.4 Análisis de perfil de textura (TPA)

Se formo una bola de masa con 16 g de harina de cada tratamiento y 10 mL de agua destilada, la cual se colocó en un cilindro de acrílico y se dejó reposar por 20 min. La textura de la masa se determinó en un analizador de textura Brookfield CT3™ (Ametek Brookfield, Middleboro, EE. UU.). La masa se comprimió dos veces consecutivas sobre la base TA-BT-KIT, con un émbolo de aluminio de 36 mm de diámetro (Sonda: TA-AACC36) así como, una célula de carga de 4500 g, a una velocidad de 1 mm/s y un 30% de deformación. La masa se dejó reposar durante 5 s entre cada compresión y los parámetros de dureza, adhesividad, resiliencia, cohesividad, elasticidad y masticabilidad se obtuvieron utilizando el software TexturePro CT. (Bourne, 1978).

5.7.2.5 Elaboración de pan de caja

Para la elaboración del pan únicamente se utilizó el tratamiento de pupas al 2.5%. La formulación completa se observa en la Tabla 14.

Tabla 14. Ingredientes utilizados en la elaboración del pan de caja adicionado con harina de *T. molitor*.

Ingrediente	Cantidad	Marca
Harina de Trigo	156 g	SELECTA®
Harina de *T. molitor*	4 g	----
Agua	103 mL	Bonafont®
Levadura	3 g	Tredipan®
Sal	1.3 g	La Fina®
Azúcar	2 g	Zulca®
Mantequilla	5 g	Alpura®
Leche	2 g	Alpura® Clásica Deshidratada

Todos los ingredientes se homogenizaron hasta obtener una masa, después se colocó en un recipiente y se cubrió con plástico film y se dejó reposar por 1:30 h a 26ºC, posteriormente la masa se extendió y se moldeo para dar forma de pan de caja y se colocó en un molde de aluminio de 33 cm de largo por 10 de ancho por 10 de alto, se cubrió con plástico film y se dejó fermentar por 1.30 h a 26ºC. Finalmente se horneo a 180ºC por 50 min.

5.7.2.6 Vida de anaquel del pan de caja

La vida de anaquel del pan de caja se determinó por medio de un diseño básico, Tabla 15.

Tabla 15. Planteamiento del Diseño de vida de anaquel del producto

Diseño	Básico
Producto	Pan de caja
Empaque	Celofán
Vida útil estimada	21 días
Condiciones de almacenamiento	20ºC
Línea base o tiempo cero	Fecha de fabricación del producto
Método de prueba	Descriptivo
Días de muestreo	0, 7, 15, 21
Control	Estadístico
Parámetros para evaluar fisicoquímicos	aw, color y perfil de textura TPA
Parámetros para evaluar microbiológicos	Enterobacterias, Cuenta total, mohos y levaduras

5.7.2.7 Análisis microbiológico del pan de caja

Los análisis microbiológicos se realizaron para determinar la presencia de microorganismos de interés, Tabla 16, siguiendo el protocolo de la normatividad mexicana:

- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa: esta técnica se basa en preparar diluciones seriadas de la muestra y sembrarlas por duplicado en placas Petri con un medio sólido. Tras mezclar cuidadosamente y dejar solidificar, las placas se incuban de forma invertida a temperaturas específicas (35 ± 2 °C para aerobios mesófilos durante ~48 h, o variantes para termófilos y psicrotróficos) según el tipo de bacteria. Se seleccionan las placas con entre 25 y 250 colonias, se cuentan, y se calcula la concentración reportada como UFC/g o ml multiplicando por el inverso de la dilución
- NOM 210 SSA1 2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos, que define procedimientos tanto generales como alternativos para detectar y cuantificar microorganismos indicadores (coliformes, *E. coli*, enterococos) y patógenos como *Salmonella spp*., *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes* en alimentos, bebidas y agua.

- NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos: se inocula por duplicado en placas con agar papa- dextrosa acidificada (pH 3.5). Las placas se incuban invertidas a 25 ± 1 °C por 3 a 5 días. Solo se utilizan para el conteo aquellas placas con entre 10 y 150 colonias; cuando el crecimiento es muy extenso, se toma en cuenta el conteo a los 3 o 4 días. Los resultados se expresan en UFC/g o mL.

En los tres casos se prepararon diluciones en tubos de ensayo con 4.5 mL de agua peptonada (esterilizada, durante 20 minutos a 121°C y 15 libras) y 0.5 gramos de muestra, el tubo se agito con un vortex y se inóculo por duplicado en placas con 15 mL del medio de interés, finalmente, las placas se incubaron a diferentes tiempos, Tabla 16. Los análisis microbiológicos se realizarón al día 0, al día 7 y día 15, no se llegó al día 21 debido a que el pan presentó crecimiento de moho en la superficie.

Tabla 16. Microrganismos de interés en el pan de caja.

Microorganismo	Medio	Tiempo incubación (h)
Enterobacterias	MacConkey	24
Mesófilos aerobios	Cuenta estándar	48
Hongos y levaduras	Papa Dextrosa	72

5.7.2.8 Análisis de perfil de textura (TPA)

La textura de la muestra se determinó en un analizador de textura Brookfield CT3™ (Ametek Brookfield, Middleboro, EE. UU.). Para esta prueba se elaboraron pequeños panes de 3 cm de diámetro por 3.5 cm de alto, la formulación fue la misma, Tabla 15. La muestra se comprimió dos veces consecutivas sobre la base TA-BT-KIT, con un émbolo de aluminio de 36 mm de diámetro (Sonda: TA-AACC36) así como, una célula de carga de 4500 g, a una velocidad de 1 mm/s y un 30% de deformación. La muestra se dejó reposar durante 5 s entre cada compresión y los parámetros de dureza, adhesividad, resiliencia, cohesividad, elasticidad y masticabilidad se obtuvieron utilizando el software TexturePro CT (Bourne, 1978). El análisis de perfil de textura (TPA) se realizó al día 0,07 y 15.

5.7.2.9 Análisis sensorial del pan de caja

El análisis sensorial se realizó con 135 estudiantes del Instituto de ciencias agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las muestras de pan se evaluaron a temperatura ambiente, se presentaron en trozos de 2 x 3 cm, y se etiquetaron con un código. Los atributos de Apariencia General, Tamaño de miga, Color, Olor, Textura y sabor se evaluaron en una escala hedónica de 5 puntos (5 Me gusta mucho, 4 Me gusta moderadamente, 3 no me gusta ni me disgusta, 2 me disgusta moderadamente, 1 me disgusta mucho).

5.8 Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las harinas obtenidas del *T. molitor* y los resultados del análisis químico proximal, microbiológico y propiedades tecnofuncionales, se expresaron como media y desviación estándar.

Se utilizó un diseño completamente al azar para comparar las propiedades reológicas utilizando el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Variable medida, μ = media de la población, T_i= i-ésimo tratamientos, ε_{ij} = error experimental.

Los resultados se analizaron mediante un ANOVA y una prueba de Tukey para demostrar las diferencias de las medias, con un nivel de significancia $p<0.05$ utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics.

6 Resultados y Discusión

6.1 Deshidratado y rendimiento de las harinas

El rendimiento de la obtención de una harina estará relacionado con la forma de obtención de esta, el deshidratado de los insectos se realizó por medio del calor generado por radiación de microondas, este método tiene la ventaja de acelerar el proceso de deshidratado y de reducir el tiempo de exposición al calor, lo que ayuda a preservar la composición nutricional

y las características funcionales del alimento (Hernández *et al*., 2024). El rendimiento de cada harina, Tabla 17, va de 38.8, 39.7 y 51.3%, para pupas, larvas y escarabajos, respectivamente, cabe señalar, que las excretas no fueron sometidas a tratamiento térmico, pero si a un proceso de tamizado y su rendimiento fue de 53.78%, estos resultados indican que cada estadio del insecto tiene un comportamiento diferente al momento de ser procesados. Determinar el rendimiento de la materia prima sirve como parámetro de calidad de esta (Horra *et al*., 2012). Pese a existir diversas investigaciones sobre el deshidratado con microondas a diversos alimentos (Azimi-Nejadian & Hoseini, 2019; Behera & Balasubramanian, 2021; Ravikumar *et al*., 2023) poca o nula investigación se ha realizado sobre el efecto de las microondas en los insectos.

Tabla 17. Rendimiento de cada estadio del *T. molitor* para la obtención de las harinas.

		Estadio			
		Escarabajos	**Larvas**	**Pupas**	**Excretas**
Peso (g)	Fresco	876.6	2408.3	2403.9	2000
	Deshidratado	453.9	995.8	937.2	---
	Molido/Tamizado	449.8	955.5	933.7	1075.6
	Rendimiento	51.30%	39.70%	38.80%	53.78%

6.2 Microbiología de las harinas

El resultado microbiológico, Tabla 18, mostró la ausencia total de enterobacterias, hongos y levaduras, para las harinas que fueron sometidas a tratamiento térmico, es importante destacar que está demostrado que el tratamiento térmico por medio de microondas tiene efecto inhibitorio sobre los microorganismos indeseables (Durance & Yaghmaee, 2011; Vandeweyer *et al*., 2017).

Tabla 18. Carga microbiológica de las harinas obtenidas del *T. molitor*, en estado de larvas, pupas, adultos y sus excretas.

Microorganismo (UFC/g)	Harina			
	Escarabajos	**Larvas**	**Pupas**	**Excretas**
Enterobacterias	0	0	0	1.55±0.03
Aerobios totales	1.15±0.11	1.61±0.04	1.65±0.05	2.76±0.02
Hongos y levaduras (PDX)	0	0	0	2.17±0.03
Hongos y Levaduras (SBD)	0	0	0	2.19±0.01

Es importante resaltar que la harina de excretas no fue sometida a ningún tratamiento térmico por lo tanto es de esperarse la presencia de microorganismos, a pesar de ello, los resultados están por debajo de lo establecido por el Reglamento de la Unión Europea, en lo que compete a harinas de trigo o harinas provenientes del *T. molitor*, donde: el límite máximo permisible para enterobacterias es de ≤ 2 Log de UFC/gramo y para mesófilos aerobios es de ≤ 5 Log de UFC/gramo. Con lo que respecta al recuento de mohos y levaduras el límite máximo permisible es de 2.48 Log de UFC/gramo, basándonos en la normatividad mexicana para la harina de trigo (NOM-247-SSA1, 2008), esto indica que las harinas son seguras para el consumo humano.

6.3 Propiedades tecnofuncionales de las harinas

6.3.1 Capacidad espumante (CEs) y estabilidad de la espuma

La capacidad espumante, se define como la habilidad que posee una proteína para formar espuma cuando se incorpora aire o gas en un sistema líquido, por medio de sobresaturación o de forma mecánica; los grupos hidrófilos, de la proteína, se orientan hacía la fase acuosa y los grupos hidrófobos hacía la fase de aire y se forman las burbujas (espuma).

Las harinas de *T. molitor* mostraron tener capacidad para formar espuma. El porcentaje va desde 31.3 a 51.3%, Tabla 20. En el caso de la harina de larvas y la harina de pupas, los resultados fueron superiores a los reportados por Oliveira *et al*., (2024) donde su investigación reporto valores del 6% en la harina de pupas y cerca del 16% para la harina de larvas, ambas harinas provenientes del *T. molitor.* Estos resultados difieren con lo reporta do por Yi *et al*., (2013) donde utilizaron albumina de huevo como referencia, formando espuma

estable, con un tiempo de semidesintegración de 17 min, las fracciones de proteína de las larvas de *Zophoba morio*, *Acheta domesticus* y *Blaptica dubia,* estos últimos en etapa adulta, formaron espuma, pero con tiempos de semidesintegración menores a 6 min, lo que indica que no son estables, en el caso del *T. molitor*, no formo espuma significativa; Kim *et al*., (2019) reportaron mayor CEs en la proteína soluble en agua, y proteína soluble en sal extraída del *Protaetia brevitarsis*, seguido por la proteína soluble en sal del *T. molitor* y siendo menor la proteína del *T. molitor* soluble en agua; Mishyna *et al*., (2021) reportaron que la harina de grillo *Gryllodes sigillatus*, presentó un 86% de CEs, y la harina de larvas de *T. molitor* lo reportaron como no espumoso. Es importante destacar que estas comparaciones pueden ser complicadas, debido a la diferencia en la metodología empleada para la obtención de la harina y los métodos de evaluación de la CEs.

Tabla 19. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de larvas, pupas, escarabajos y excretas.

Harina	Capacidad espumante (%)	Estabilidad de la espuma a 1 h (%)
Larvas	31.3 ± 1.15	82.75 ± 1.61
Pupas	51.3 ± 1.15	82.39 ±2.98
Escarabajos	31.3 ± 1.15	98.48 ± 1.52
Excretas	36.7 ± 1.15	79.52 ± 1.31

Con lo que respecta a la estabilidad de la espuma, después de una hora, la espuma de la harina de escarabajo, Tabla 19, mostró el mayor porcentaje de estabilidad, siendo del 98.45% y la harina de las excretas del 79.52%. A comparación de los resultados obtenidos en la investigación de Oliveira *et al*., (2024) donde sus harinas presentaron el 92.6% y el 94.2% en las harinas de larvas y pupas, respectivamente, en esta investigación los resultados fueron menores, con un 82.75% en la harina de larvas y un 82.39% en la harina de pupas. Tanto la capacidad de formación de espuma y su estabilidad, están influenciadas por la especie del insecto, cantidad de grasa, el pH, la estructura, concentración y fuerza iónica de la proteína y los tratamientos para la obtención de las harinas de los insectos, así como, la presencia de quitina (Lomakina & Míková, 2006; Yi *et al*., 2013; Mishyna *et al*., 2021).

6.3.2 Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de absorción de lípidos (CAL)

La capacidad de absorción de agua es la aptitud que tiene la materia para asociarse con el agua en condiciones en las que el agua es limitada, es una propiedad tecnofuncional importante para la formulación de alimentos, como la elaboración de masas para pan y pasteles, donde a mayor CAA mayor será la frescura de los productos finales (Nadolny *et al*., 2025). Los resultados de la capacidad de absorción de agua, Tabla 20, mostraron que las harinas provenientes del *T. molitor* tienen el potencial para atrapar agua, estos resultados van a estar asociados a las características de las proteínas presentes en la harina, como su tamaño, forma, balance hidrofílico e hidrofóbico que presentan sus aminoácidos, así como a los lípidos y carbohidratos presentes (Chaparro *et al*., 2014).

La capacidad de absorción de lípidos, también es importante al momento de formular alimentos, la CAL está relacionada con la retención del sabor y previene la rancidez oxidativa, puede ser aprovechada para mejorar la palatabilidad e incluso para aumentar la vida de anaquel en productos de panadería, también es muy empleada en la formulación de sustitutos de carne y extensores, estos resultados se asocian con la presencia de aminoácidos no polares en las harinas o a la posible desnaturalización parcial de sus proteínas (Sánchez-Mendoza *et al*., 2017; Cruz-Solorio *et al*., 2018).

Tabla 20. Capacidad de absorción de agua y capacidad de absorción de aceite de las harinas obtenidas del *T. molitor*.

Estadio	CAA (mL/g)	CAL (mL/g)
Escarabajos	1.63±0.06	1.33±0.06
Larvas	1.16±0.06	0.93±0.06
Pupas	1.1±0.0	0.76±0.06
Excretas	3.13±0.12	1.73±0.12

6.3.3 Colorimetría de las harinas

Es importante mencionar que en esta parte de la investigación las harinas no se comparan entre sí, los resultados están más enfocados en la descripción de cada harina. La determinación del color en la industria alimentaria es fundamental al momento de introducir un nuevo alimento al mercado, el color del alimento debe describirse en base a los 3 atributos de color: luminosidad, tonalidad y pureza de color (Pérez & Verdú, 2007), el espacio de color CIE L*a*b*, es un modelo de color, desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación, su objetivo es caracterizar el color, en un formato matemático y estandarizado, y se define mediante tres componentes: "L*" nos indica que tan luminosa es o no la muestra analizada, valores 0 (negro) a 100 (blanco); "a*" las coordenadas de color rojo o verde, un +a indica coloración rojiza y -a indica coloración verdosa; "b*" las coordenadas de color amarillo ó azul, +b indica coloración amarillenta y -b indica coloración azulada (Hidalgo *et al*., 2014). Los valores de "h" indicara la tonalidad del color y "c" indica la saturación del color, valores altos indican que es altamente saturado (Dussán *et al*., 2019). De manera general las harinas tienden a tener coloración luminosa, con los que respecta a los valores de "a*" estas tienden a tonalidades rojizas y "b*" tiende a tonalidades amarillentas. Los resultados, Tabla 21, obtenidos de la harina de pupas, indican una luminosidad intermedia con un matiz cálido, dominado por componentes amarillos y una leve influencia rojiza; la harina de excretas posee luminosidad brillante, pero sin ser un tono claro, y una tonalidad cálida, que también la sitúa el en espectro amarillo-anaranjado; la harina de larvas posee un aspecto relativamente oscuro, con matices cálidos, con tonalidades rojizas y amarillas; la harina de los escarabajos la luminosidad es moderada, con cierta sobriedad, el color es cálido, con tendencia rojiza y amarilla y posee una saturación moderada lo que indica que el color es perceptible y definido.

Tabla 21. Colorimetría de las harinas de *T. molitor*.

Harina	**Valores**	**Descripción**	**Representación del color**

Pupas	L = 59.57±0.17 a*=11.61±0.47 b*= 18.94±0.68 h*= 1.02±0.02 c*= 22.21±0.70	Amarillo-anaranjado o dorado moderadamente saturado	
Excretas	L = 61.54±1.74 a*=10.37±0.91 b*= 15.05±0.97 h*= 0.96±0.03 c*= 18.28±1.18	Amarillo-anaranjado	
Larvas	L = 49.51±1.34 a*=11.98±0.45 b*= 14.58±0.84 h*= 0.88±0.01 c*= 18.87±0.92	Oscuro y cálido	
Escarabajos	L = 51.32±0.70 a*=8.11±0.70 b*= 13.17±0.56 h*= 1.01±0.03 c*= 15.47±0.76	Dorado sombrío y cálido	

6.3.4 aw de las harinas

Determinar la actividad de agua (aw) es importante para determinar la vida útil de un alimento, principalmente por dos factores: determina la cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la determinación de la actividad química y enzimática. Los resultados obtenidos, Tabla 22, muestran que la actividad de agua de las harinas esta por muy por debajo de 0.6 lo que se considera el límite para prevenir el crecimiento de hongos y levaduras, que son de los microrganismos de interés en las harinas (Barbosa-Cánovas *et al*., 2020).

Tabla 22. Actividad de agua (aw) de las harinas obtenidas de los tres estadios del *T. molitor* y de sus excretas.

Harina	aw
Larvas	0.466± 0.008
Pupas	0.382 ± 0.006
Escarabajos	0.336 ± 0.001
Excretas	0.577 ± 0.011

6.3.5 Características químico-proximales de las harinas

Es importante recordar que esta investigación tiene como finalidad la caracterización de las harinas obtenidas del *T. molitor,* más que, una comparación entre ellas. Investigaciones de las últimas décadas informan que los insectos comestibles son nutritivos, ricos en proteínas, grasas saludables, como el ácido oleico en 51.33% y ácido linoleico en 22.47%, cantidades semejantes a los provenientes del aceite de oliva (Pantoja & Untiveros, 2010); también se registra la presencia de micronutrientes como vitaminas y minerales (Dreassi *et al*., 2017).

Para esta investigación se trabajó con tres estadios (larva, pupa y adulto) y las excretas del *T. molitor*. Los análisis químico-proximales realizados se reportaron en base seca, Tabla 23. Se puede observar que los porcentajes de proteína y fibra bruta van de 63.57% a 25.74% y de 18.03% a 5.33%, respectivamente, siendo el escarabajo el que mostro mayor contenido de proteína, y el segundo en mayor contenido de fibra, por su parte las excretas poseen el mayor contenido de fibra y un considerable contenido de proteína. Para determinar el contenido de proteínas de *T. molitor* se utilizó el factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6.25, sin embargo, se ha afirmado que el contenido de proteínas determinado por el nitrógeno total no es exacto cuando se trabaja con insectos, debido a las diferencias químicas y de composición entre las proteínas, así como a la presencia de nitrógeno no proteico (Hall & Scônfeldt, 2013), es importante considerar, que, al determinar el contenido de proteína cruda en el caso de muestras ricas en quitina, es necesaria la corrección correspondiente al factor de conversión proteico (Carrillo *et al*., 1995).

Con lo que respecta a los resultados de proteína y fibra en las excretas, se puede asumir que ocurre algo similar, puesto que las excretas también contienen quitina, la cual proviene del

alimento, que, al momento de pasar a través del intestino medio, las células epiteliales segregan una barrera semipermeable denominada membrana peritrófica, que envuelve el alimento y está formada por proteínas (peritrofinas) y quitina. Esta membrana tiene como funciones principales encapsular el alimento y dividirlo en distintas porciones, el aislamiento de toxinas y/o patógenos, y la protección del epitelio intestinal, en su interior ocurre la digestión de las macromoléculas con la entrada de enzimas, la cual libera nutrientes al lumen, donde se completa la digestión y absorción de estos, por lo tanto, cada vez resulta ser un minúsculo gránulo de materia orgánica parcialmente digerida envuelta por una película de quitina (Arias, 2018).

De manera general los resultados reportados son similares a los reportados por Ravzanaadii *et al*., (2012) determinaron la composición proximal del gusano de la harina, en larva, adulto, y excretas, los resultados obtenidos fueron de 46,44, 63,34 y 18,51% de proteína respectivamente, lo que sugirió que incluso los excrementos podrían usarse como un suplemento adicional en el proceso de reciclaje de alimentos, cabe mencionar que el *T. molitor* tuvo una dieta similar a la llevada a cabo en esta investigación, solo difiriendo en que ellos agregaron como fuente de agua, col rojiza, además de la zanahoria.

De acuerdo con la investigación de Reyes & Meléndez, (2013) donde trabajaron con dos tipos de sustrato (salvado de trigo y arroz) y tres fuentes de agua (manzana, papa y zanahoria), tuvieron resultados donde el arroz aporta al insecto una cantidad abundante de grasa en comparación con el salvado de trigo, y observaron que la dieta donde obtienen mayor cantidad de proteínas fue a base de la combinación de salvado de trigo y papa con aportes de 66.41% de humedad, 57.56% de proteína y 28.65% de grasa, por lo tanto se considera que la dieta influye en el contenido bromatológico.

Tabla 23. Contenido químico proximal de *T. molitor*: larvas, pupas, adultos, excretas.

Estadio	**Escarabajos**	**Larvas**	**Pupas**	**Excretas**
Humedad (%)	3.80 ± 0.14	2.80 ±0.03	4.23±0.03	10.30±0.48
Proteína (%)	63.57 ± 0.80	51.12 ±0.28	51.41±0.26	25.74±0.44

Grasa (%)	13.42±0.22	32.88 ±0.15	29.76±0.20	0.80±0.16
Fibra (%)	17.47±1.34	5.33 ±0.31	15.23±0.78	18.03±1.01
Cenizas (%)	3.88±0.03	3.34 ±0.18	3.53±0.06	8.11±0.08
Carbohidratos (%)	1.65	7.31	2.21	47.31

Con lo que respecta a los resultados obtenidos de la harina de pupas, se puede observar una similitud a lo reportado por Oliveira *et al*., (2024) donde documentaron valores de 57.78%, 31.21% y 3.63% para proteína, grasa y cenizas respectivamente, cantidades bastante próximas a lo reportado en esta investigación, lo que sugiere que el estadio de pupas es otra opción, para tener una fuente de proteína y grasa.

6.3.6 Resultados del análisis de Textura de masas de la mezcla de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de T. molitor.

6.3.6.1 Extensibilidad Biaxial

Es importante señalar que la masa es un fluido no newtoniano y su comportamiento reológico depende del tipo y la fuerza de tensión aplicada. La extensibilidad biaxial, consiste en medir la reología extensional de la masa en condiciones de tensión. Mediante esta técnica se puede medir la deformación que sufre la matriz de la masa que rodea a una burbuja de gas en

expansión, durante la fermentación y el horneado, esta deformación es llamada “flujo de estiramiento biaxial” (Pavlovich-Abril, 2023). Los datos obtenidos de esta prueba van a determinar: el volumen del pan y la estructura de la miga; y están estrechamente relacionaos con el contenido de fibra, proteína y almidón. Los resultados obtenidos de la prueba de extensibilidad biaxial muestran que cuando se mezcló la harina de pupas del *T. molitor*, en los diferentes tratamientos, hubo una disminución estadísticamente significativa ($p<0.05$) de la sobre presión máxima o también llamada “tenacidad” (P), que es la resistencia de la masa a la deformación, en la etapa inicial, con respecto al control, cabe señalar que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos con harinas de pupas. Con lo que respecta a la extensibilidad, Gráfico1, esta también disminuyó significativamente en todos los tratamientos con respecto al control. Esto nos indica que usar la harina de pupas va a disminuir la tenacidad y la extensibilidad. Estos resultados están asociados al procesamiento de la masa, donde está experimenta diferentes deformaciones mecánicas, incluyendo la extensión y la compresión. Las deformaciones extensionales ocurren principalmente durante el proceso de fermentación y de horneado, lo cual se considera un factor importante para evaluar el rendimiento de la cocción de la masa, los datos obtenidos de esta prueba estarán relacionados con el producto final, impactando directamente sobre la estructura de la miga y el volumen del pan (García-Gómez *et al*., 2002).

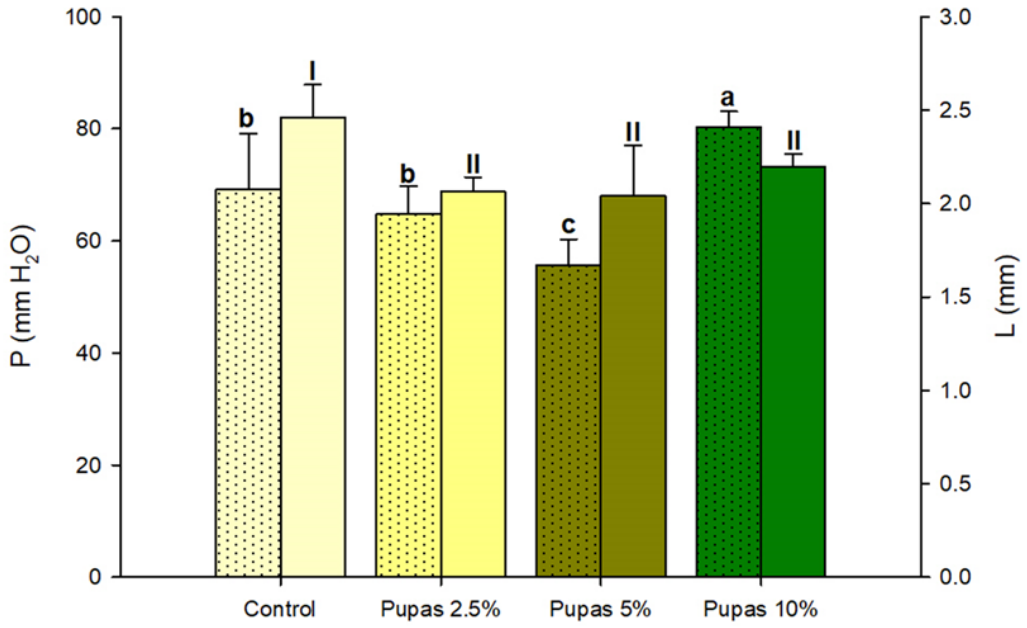


Gráfico 1. Extensibilidad biaxial de las masas. Las barras punteadas hacen referencia a las Tenacidad "P" y las barras lisas a la extensibilidad. Diferentes letras y números representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤0.05.

Con lo que respecta a los valores de W, Gráfico 2, se puede observar una disminución significativa en todos los tratamientos a comparación del control. Estos resultados concuerdan con la investigación de (Roncolini *et al*., 2019) donde observaron una disminución de W conforme añadían harina de larvas de *T. molitor*, en un 5 y 10%. Los valores de W se conocen como energía de deformación y representa la energía necesaria para inflar la burbuja de masa hasta obtener su ruptura (Jødal & Larsen, 2021). El parámetro W es muy empleado en la industria alimentaria para separar las masas en dos grupos, por ejemplo, la harina para pan se espera que posea valores de W>100, y los valores de W<100 se espera que se emplee en la producción de galletas (García-Álvarez *et al*., 2021). Se puede considerar los valores de W como un indicador de la fuerza del gluten, porque se ha demostrado que va a depender de la cantidad y la calidad de este en la masa, sin embargo, se deben considerar otras variables como la absorción de agua, a mayor absorción de agua de la harina menor será el valor de W.

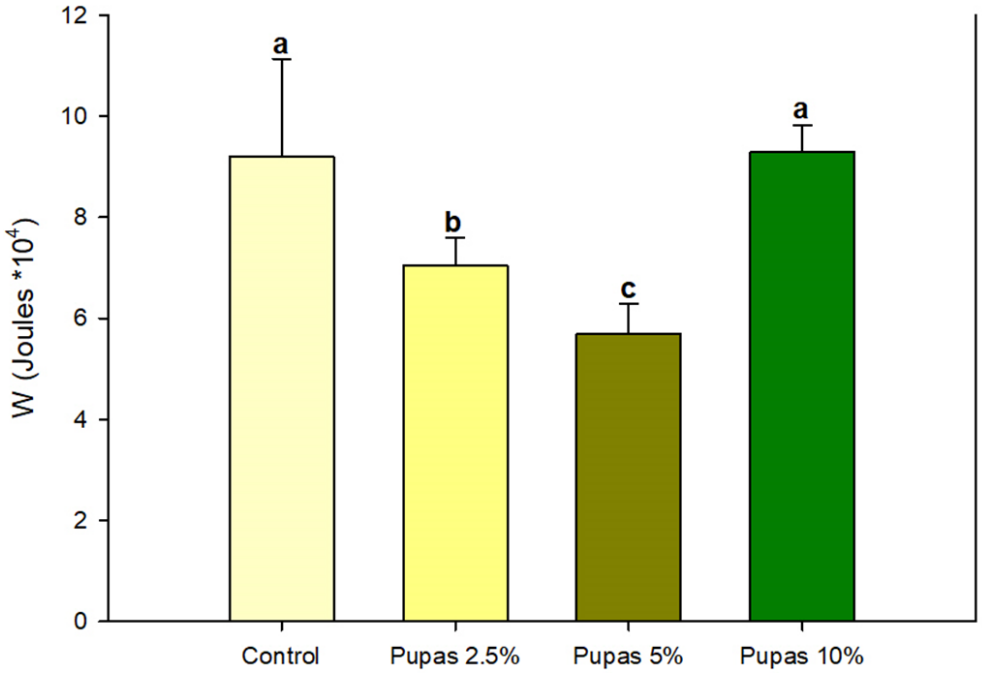


Gráfico 2. Extensibilidad Biaxial de las masas. Muestra el valor "W" o la energía necesaria para romper la burbuja de la masa. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05.

En cuanto a los valores de la sobrepresión máxima y la longitud de la curva (P/L), Gráfico 3, se puede observar una disminución significativa ($p<0.05$) de los tratamientos en comparación con el control; los valores altos de P/L indican que la masa es resistente e inextensible, mientras que valores bajos de P/L indican una masa débil y extensible, estos valores indican el equilibrio entre tenacidad y extensibilidad en la industria se utilizan en conjunto con W para evaluar las cualidades de las harinas (Jødal & Larsen, 2021).

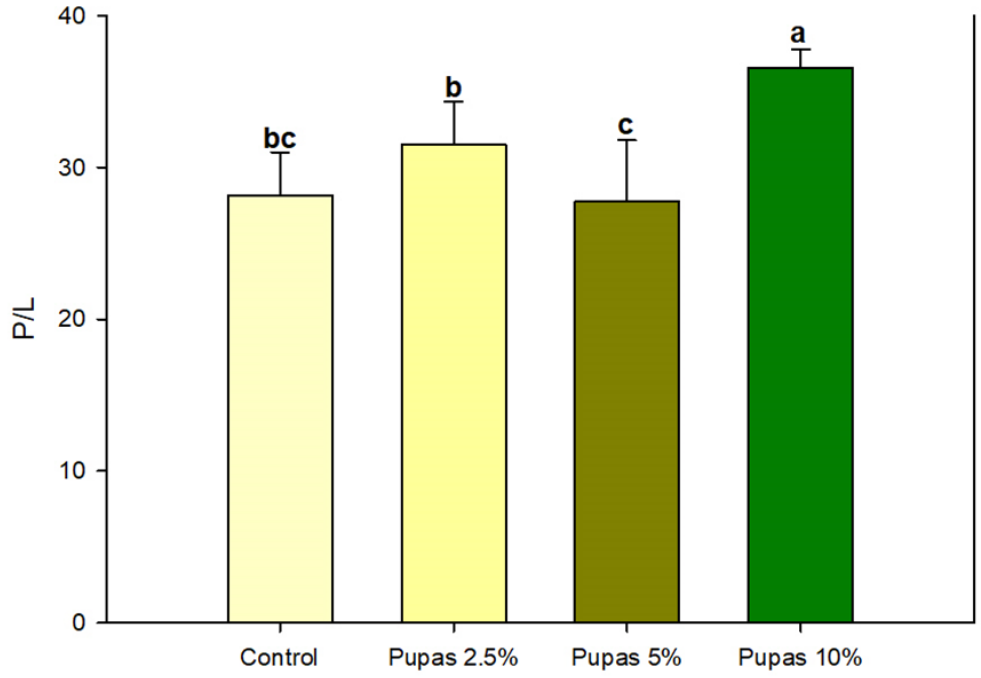


Gráfico 3. Extensibilidad Biaxial de las masas. Muestra el valor "P/L" que es la relación entre la sobrepresión máxima y la longitud de la curva, es adimensional. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05

6.3.6.2 Extensibilidad Uniaxial

Esta técnica se emplea para comprender la composición del gluten y las propiedades de la masa; durante la prueba una tira de masa se somete a una fuerza extensional uniaxial y a una velocidad de deformación constante, hasta su ruptura. El objetivo es determinar la resistencia

de la masa al estiramiento, y se reportan los parámetros de Máxima Resistencia a la Extensión (Rm), y Máxima Extensibilidad (Em) (Fu *et al*., 2017), Gráfico 4.

Estas dos propiedades son importantes porque sirven para predecir el tipo de harina ideal para cada producto, por ejemplo, la harina destinada a la elaboración de pastas requiere masas con alta resistencia, y para elaborar galletas se requiere de harina con baja resistencia y alta extensibilidad, mientras que, para elaborar pan, se requiere que la masa tenga propiedades intermedias, como resistencia moderada y alta extensibilidad (Bangur *et al*., 1997). Como se observa en el gráfico 4, el control presenta la mayor resistencia a la extensión, y con forme se añadió *T. molitor* la resistencia fue disminuyendo, generando diferencias significativas ($p<0.05$), esto quiere decir que la masa del control es más fuerte en comparación con los tratamientos que son masas más débiles, con lo que respecta al valor de extensibilidad máxima, esta no presento diferencias significativas entre el tratamiento control y los tratamientos con harina de pupas al 2.5 y 5%, estos resultados pueden sugerir la aplicación del *T. molitor* para la elaboración de pan.

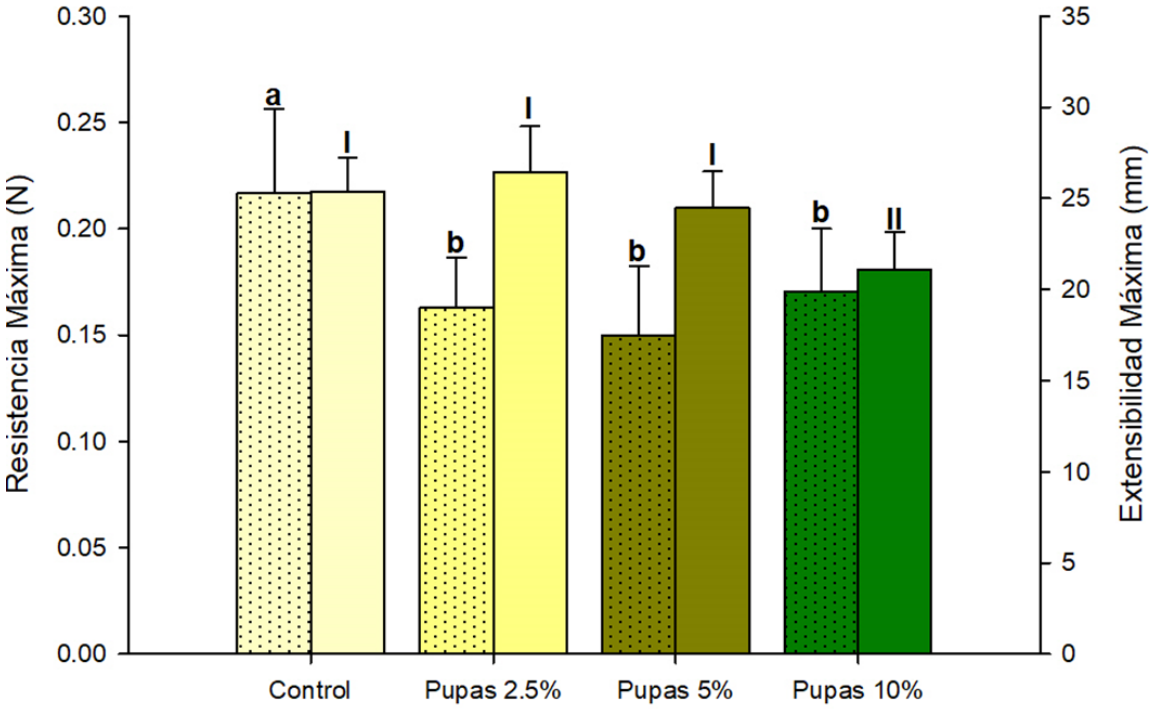


Gráfico 4. Extensibilidad Uniaxial de las masas. Las barras punteadas hacen referencia a la resistencia máxima y las barras lisas a la extensibilidad máxima. Diferentes letras y números representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05.

6.3.6.3 *Prueba de Pegajosidad de Chen-Hoseney*

La pegajosidad se define como "la fuerza de adhesión que se produce cuando dos superficies entran en contacto entre sí", esta se verá influenciada por dos fuerzas la adhesiva y la cohesiva, en la industria alimentaria, principalmente en la panadería, tiene gran importancia, puesto que, puede afectar negativamente el proceso de producción y la preferencia del consumidor (Hoseney & Smewing, 1999).

Los resultados se observan en el Gráfico 5, se observa que la pegajosidad tuvo un aumento significativo ($p<0.05$), a medida que aumento el contenido de harina del *T. molitor*. Con lo que respecta a la cohesión, no hubo diferencia significativa. Estos resultados pueden deberse a factores como la absorción de agua, la cantidad de proteínas solubles, el rendimiento de la harina, diferencias en la composición de proteínas (relación entre gluten y gliadina) la actividad alfa amilasa, el contenido de cenizas, la actividad proteolítica y el nivel de ácido ferúlico (Grausgruber *et al*., 2003; Yildiz *et al*., 2012).

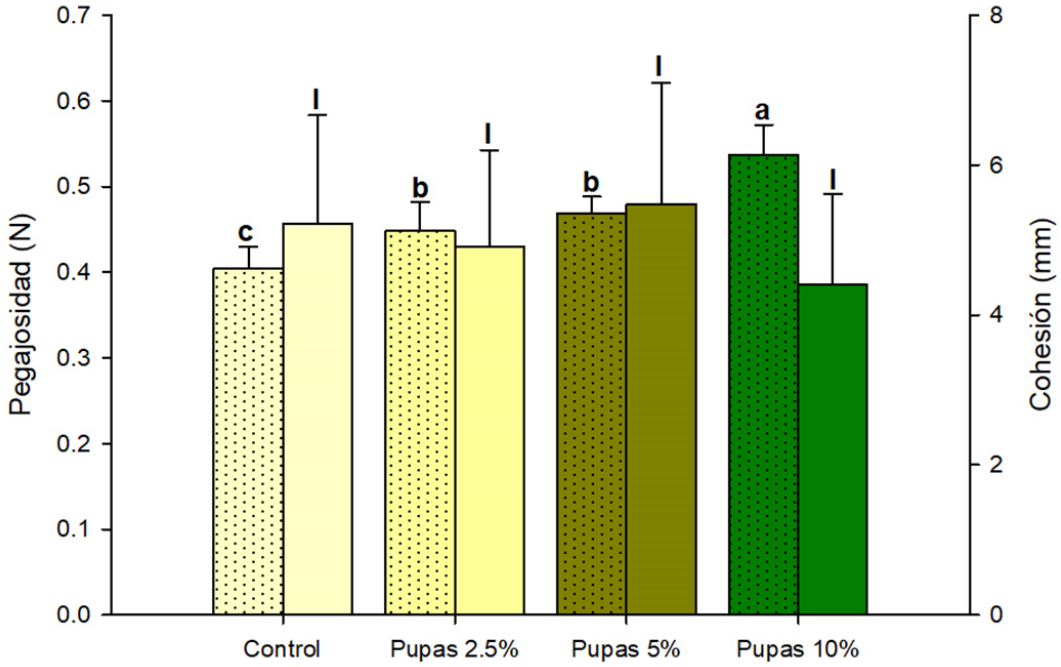


Gráfico 5. Pegajosidad de Chen Hoseney de las masas. Las barras punteadas hacen referencia a la Pegajosidad (N) y las barras lisas a la Cohesión (mm). Diferentes letras y números representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05.

6.3.6.4 Perfil de Análisis de Textura TPA

En análisis de perfil de textura TPA es una técnica empleada para medir las propiedades de textura de alimentos sólidos y semisólidos, la técnica se basa en realizar dos compresiones, mediante una plataforma plana, se puede cuantificar la dureza y otras propiedades derivadas, como la elasticidad y la masticabilidad (Wee *et al*., 2018).

En el Gráfico 6 se muestran los resultados obtenidos de la dureza, la cual se define como la fuerza necesaria para lograr una deformación determinada, se puede observar que hubo un aumento significativo en el tratamiento de 2.5% en comparación con el tratamiento control y los tratamientos al 5 y 10% estos resultados están asociados a la alteración de la red del gluten, ocasionada por la adición de un ingrediente sin gluten, en este caso la harina de pupas de *T. molitor* (Kowalski *et al*., 2022).

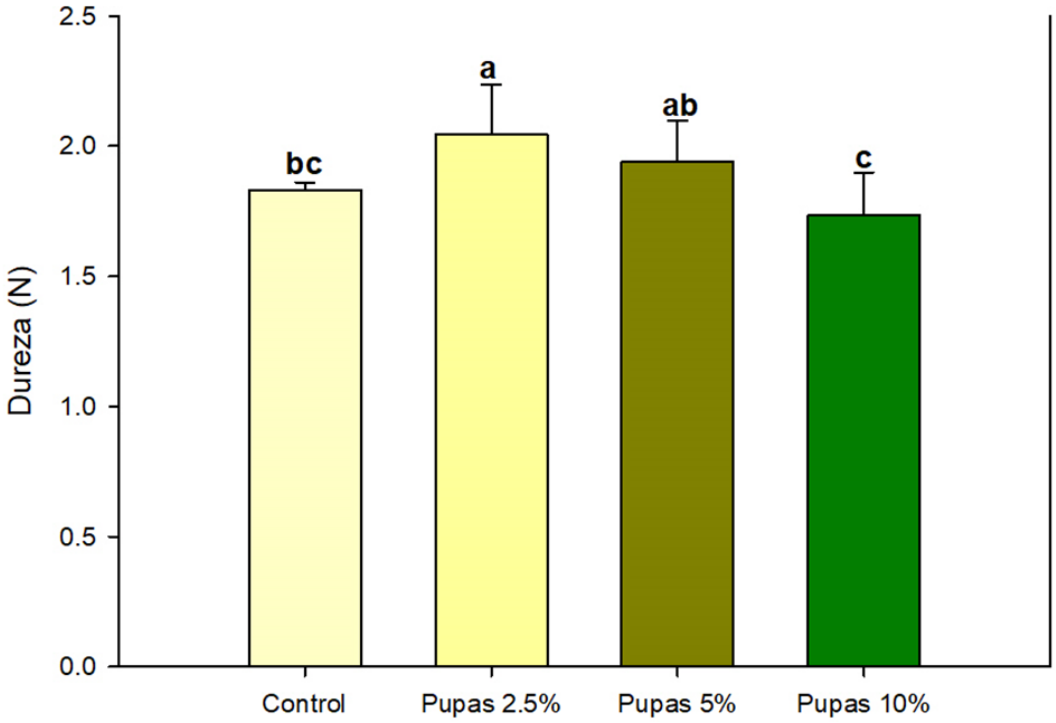


Gráfico 6. Valores de Dureza (N) de las masas. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos P≤ 0.05.

En cuanto al índice de resiliencia, Tabla 24, que es la capacidad de la muestra para volver a su forma original una vez que se le retiro la fuente de estrés, y al índice de masticabilidad, se puede observar que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. En cuanto al índice de elasticidad y la cohesividad, la cual es la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como se comportó este en la primera deformación, se puede observar una disminución significativa ($p<0.05$) entre el tratamiento control y los tratamientos con harina de pupas. De manera general las diferencias encontradas en cada parámetro del perfil de textura, están asociadas a los ingredientes empleados, debido a la reducción de la cantidad de proteínas (gluten) formadoras de estructuras y a la presencia de quitina, la cual se ha demostrado que genera efectos pronunciados sobre las propiedades reológicas, probablemente por las interacciones con el almidón, el gluten o ambos (Gómez *et al*., 2003; Kowalski *et al*., 2022).

Tabla 24. Resultados de los índices de resiliencia, elasticidad, masticabilidad y cohesividad. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos

Tratamiento	Parámetro			
	Resiliencia	**Elasticidad**	**Masticabilidad**	**Cohesividad**
Control	$0.139^{a} \pm 0.199$	$0.962^{a} \pm 0.199$	$1.1674^{a} \pm 0.507$	$0.711^{a} \pm 0.169$
Pupas2.5%	$0.050^{a} \pm 0.000$	$0.62^{b} \pm 0.304$	$0.7636^{a} \pm 0.602$	$0.51^{b} \pm 0.179$
Pupas5%	$0.048^{a} \pm 0.004$	$0.677^{ab} \pm 0.270$	$0.7612^{a} \pm 0.509$	$0.522^{ab} \pm 0.150$
Pupas10%	$0.051^{a} \pm 0.003$	$0.705^{ab} \pm 0.203$	$0.7143^{a} \pm 0.357$	$0.539^{ab} \pm 0.131$

6.4 Resultados del pan de caja elaborado con la sustitución parcial de harina de trigo por harina de pupas del T. molitor

6.4.1 Perfil de textura (TPA) del pan de caja

La tabla 25 presenta el comportamiento que tuvo el pan con respecto a su perfil de textura; se puede observar que la dureza, entendida como la fuerza necesaria para deformar una muestra (Bourne, 1978), fue aumentando con el paso del tiempo, así mismo, se puede ver una disminución significativa entre el pan control y el pan con haría de pupas al 2.5% a partir del día 7 y finalmente en el día 14; este comportamiento es similar por lo reportado por Kowalski *et al*., (2022) donde observaron una disminución de la dureza cuando se agregó harina de larvas de *T. molitor* en 10, 20 y 30% a pan de trigo, en comparación con el pan control. Estos resultados pueden estar asociados con la retrogradación del almidón, puesto que, durante este proceso ocurre la formación de cristales, debido a la alineación de moléculas de amilosa y amilopectina, y también por la liberación de agua, la cual migra de la miga hacía la corteza, y por lo tanto, en ambos casos, la dureza tiende a aumentar (Serna-Saldivar, 2016), La adhesividad hace referencia a las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de otra materia con la que el alimento entra en contacto (Bourne, 1978) podemos observar, Tabla 25, que no hubo diferencia significativa entre el pan control con el pan de harina de pupas 2.5%. La resiliencia es la capacidad que tiene un material para absorber y liberar energía, cuando se le aplica una fuerza y el material no presenta ruptura o

deformación significativa (Guiné *et al*., 2018), Tabla 25 también podemos ver que en el día 0 no hubo diferencias significativas entre el pan control y el pan con harina de pupas, pero si las presento al día 7 y 14; en ambos casos esta fue disminuyendo con el tiempo. Los valores de cohesividad y elasticidad no presentaron diferencia significativa entre el pan control y pan con harina de pupas, cabe mencionar que la cohesión son las fuerzas internas dentro de una muestra, que van a reflejar la integridad estructural y las interacciones intermoleculares dentro de la matriz del alimento (Guiné *et al*., 2018) y la elasticidad como la velocidad a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante estos resultados pueden deberse a una mayor incorporación del aire en ambos panes lo que mejora su elasticidad y cohesividad (Bottle *et al*., 2024). Los resultados de masticabilidad no presentaron diferencias significativas en el día 0 y 7 entre el pan control y el pan con harina de pupas, pero si hubo una disminución significativa al día 14, siendo menor en el pan con harina de pupas, lo que significa que se hubiera requerido menos tiempo para masticar un trozo de pan antes de tragarlo. La investigación realizada por (Gónzales *et al*., 2019) mostraron que desgrasar la harina de *Hermetia illucens* reducía los importantes parámetros de dureza y masticabilidad, al tiempo que aumentaba el contenido de proteínas del pan.

Tabla 25. Resultados del perfil de textura TPA del pan de caja, el análisis se realizó al día 0, 7 y 15 de elaboración del pan. Diferentes letras representan las diferencias significativas entre los tratamientos.

Parámetro	**Tratamiento**	**Día**		
		0	**7**	**14**
Dureza (N)	Control	$2.62^{a} \pm 0.08$	$7.23^{a} \pm 0.36$	$10.48^{a} \pm 0.41$
	Pupas2.5%	$2.43^{a} \pm 0.14$	$5.48^{b} \pm 0.10$	$7.42^{b} \pm 0.29$
Adhesividad	Control	$0.1^{a} \pm 0.00$	$0.02^{a} \pm 0.15$	$0.01^{a} \pm 0.00$
	Pupas2.5%	$0.03^{a} \pm 0.00$	$0.08^{a} \pm 0.01$	$0.06^{a} \pm 0.07$
Resiliencia	Control	$0.24^{a} \pm 0.00$	$0.17^{a} \pm 0.01$	$0.15^{a} \pm 0.00$
	Pupas2.5%	$0.23^{a} \pm 0.01$	$0.15^{b} \pm 0.01$	$0.13^{b} \pm 0.10$
Cohesividad	Control	$0.53^{a} \pm 0.10$	$0.38^{a} \pm 0.1$	$0.35^{a} \pm 0.00$
	Pupas2.5%	$0.51^{a} \pm 0.21$	$0.38^{a} \pm 0.00$	$0.33^{a} \pm 0.01$
Elasticidad	Control	$0.78^{a} \pm 0.05$	$0.65^{a} \pm 0.01$	$0.69^{a} \pm 0.03$
	Pupas2.5%	$0.78^{a} \pm 0.02$	$0.69^{a} \pm 0.02$	$0.65^{a} \pm 0.03$
Masticabilidad	Control	$1.09^{a} \pm 0.12$	$1.79^{a} \pm 0.10$	$2.52^{a} \pm 0.15$
	Pupas2.5%	$0.97^{a} \pm 0.07$	$1.45^{a} \pm 0.6$	$1.61^{b} \pm 0.14$

6.4.2 Vida útil del pan de caja desde el enfoque microbiológico

La vida útil es el período en el que los productos mantienen una calidad alimentaria satisfactoria, tanto sensorial como microbiológicamente. Este paso es crucial en la producción de alimentos y se evalúa mediante parámetros como el nivel microbiano, la actividad del agua, el pH, dureza, entre otros (Giachau *et al*., 2019). El pan tiende a deteriorarse fácilmente, debido a la proliferación, principalmente a esporas de moho y levaduras, que pueden sobrevivir a altas temperaturas de horneado, por lo tanto, conocer la carga microbiana es un buen indicador de seguridad (Smith *et al*., 2004).

Los resultados obtenidos de la investigación, Tabla 26, mostraron la ausencia total de enterobacterias para el pan control y el pan con harina de pupas al 2.5%, en el día 0, 7 y 14, se debe recordar que las enterobacterias son el grupo más grande de bacilos gramnegativos que producen enfermedades intestinales y urinarias en el ser humano (Guerrero *et al*., 2014)

su temperatura de inhibición dependerá del género del microrganismo, por ejemplo, la Salmonella tiende a inhibirse a una temperatura de 72 a 82ºC, (Lound *et al*., 2017), *E. coli*, a 71ºC (López-Pino *et al*., 2021). El recuento de mesófilos aerobios no mostró diferencia significativa al día 1, entre el pan control y el pan con harina de pupas al 2.5%, pero si las presentó al día 7 y en el día 14, siendo significativamente mayor en el pan control; estos resultados están por debajo de lo reportado por Gantner *et al*., (2022) donde mostraron un crecimiento 3.51 log de UFC/g en el día 0 y 8.44 log de UFC/g para el día 7 en su pan control (elaborado con harina de trigo) y 4.17 log de UFC/g para el día 0 y 8.38 log de UFC/g para el día 7 en pan elaborado con 5% de harina de larvas de *T. molitor.* Es importante destacar que, en conjunto la determinación de mesófilos aerobios y enterobacterias, son considerados un indicador de buenas prácticas de manufactura, y en conjunto con la determinación de mohos y levaduras, serán un indicador para determinar el tiempo de vida útil del producto (Smith *et al*., 2004; Bernaert et al., 2022).

Tabla 26. Cargas de grupos microbianos durante la vida de anaquel de pan de caja elaborado con harina de pupas de *T. molitor*.

Microorganismo (UFC/g)	**Tratamiento**	**Día**		
		0	**7**	**14**
Enterobacterias	Control	0±0.00	0±0.00	0±0.00
	Pupas2.5%	0±0.00	0±0.00	0±0.00

Mesófilos aerobios	Control	0.39^{a} ±0.12	1.24^{a} ±0.2	2.66^{a}±0.04
	Pupas2.5%	0^{a}±0.00	1.03^{b}±0.35	1.72^{b}±0.04
Hongos y levaduras	Control	0±0.00	1.64^{a}±0.11	2.50^{a}±0.03
	Pupas2.5%	0±0.00	1.68^{a}±0.12	1.50^{b}±0.03

6.4.3 Resultados análisis sensorial

Los resultados del análisis sensorial, Tabla 27, arrojaron diferencias significativas entre el pan control y el pan con harina de pupas al 2.5%, en los parámetros de apariencia general, color y sabor; estos resultados concuerdan con lo reportado por diversas investigaciones, Gantner et al., (2022) mostraron que el pan elaborado con harina de larva de *T. molitor* en un 5, 10 y 15% se caracterizó por un color marrón claro, cuya intensidad fue aumentando significativamente conforme se añadió la harina de larvas del *T. molitor*, en comparación con su pan control. La adición de la harina de pupas al 2.5% redujo significativamente el nivel de agrado de la apariencia general y el sabor del pan a comparación con el tratamiento control, lo cual concuerda con lo reportado por Kowalski *et al*., (2022) donde observaron una disminución significativa en el sabor al agregar 10, 20 y 30% de harina de larvas de *T. molitor* a un pan de trigo. Cabe mencionar que no se observaron diferencias significativas en los atributos sensoriales de tamaño de la miga, olor y textura; en el caso del olor podría relacionarse con el porcentaje de sustitución de la harina de pupas de T. molitor, pues a comparación de la literatura, donde se reportan diferencias significativas en el pan al agregar 10 y 15% de harina de larvas de T. molitor (Gantner et al., 2022). Estos resultados están asociados al tiempo y temperatura de cocción, así como al tipo y cantidad de harina de insectos empleada (Gónzalez et al., 2019). Algunas investigaciones han demostrado que diferentes especies de insectos se caracterizan por sabores y aromas particulares, que a su vez se relacionan con características propias del insecto, como, si cuenta o no, con un exoesqueleto, también a la presencia de feromonas y el tipo de alimentación que llevo el insecto (Roncolini *et al*., 2019; Haber *et al*., 2022).

Tabla 27. Resultados del análisis sensorial del pan de caja elaborado con harina de pupas del *T. molitor*.

Tratamiento	**Control**	**Pupas 2.5%**
Apariencia general	4.32^{a}±0.78	4.13^{b}±0.76
Tamaño de miga	4.15^{a}±0.79	4.02^{a}±0.82
Color	4.31^{a}±0.84	3.91^{b}±0.96
Olor	4.03^{a}±0.83	4.02^{a}±0.95
Sabor	3.92^{a}±0.90	3.59^{b}±1.08
Textura	4.12^{a}±0.92	3.91^{a}±0.96

Nota. Los resultados se expresan en una escala hedónica de 5 puntos (5 me gusta mucho, 4 me gusta moderadamente, 3 no me gusta ni me disgusta, 2 me disgusta moderadamente, 1 me disgusta mucho).

7 Conclusiones

A partir del cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- **Respecto a la caracterización de las harinas:**

  Las harinas obtenidas a partir de los diferentes estadíos del ciclo de vida de *Tenebrio molitor*, así como de sus excretas, presentaron un alto contenido proteico, lo que las convierte en ingredientes con valor nutricional significativo. Cada una mostró propiedades fisicoquímicas y tecno funcionales particulares, influenciadas por la etapa de desarrollo del insecto, evidenciando que esta variable tiene un impacto determinante sobre la calidad de las harinas producidas.

- **Sobre el comportamiento reológico de las masas:**

  La incorporación de harina de *T. molitor* en formulaciones con harina de trigo modificó de manera significativa las propiedades reológicas de las masas. Este comportamiento se atribuye a la alteración de la red de gluten por la inclusión de un ingrediente sin gluten y por la presencia de componentes estructurales como la quitina. Dichos cambios revelan la necesidad de comprender mejor las interacciones moleculares involucradas para optimizar su aplicación tecnológica.

- **En relación con la aplicación en panadería:**

  Se identificaron formulaciones óptimas con sustituciones de harina de insecto en proporciones de 2.5% a 5%, las cuales mantuvieron una estructura adecuada de masa, lo que indica su potencial para ser empleadas en productos de panadería. Estas formulaciones representan un avance hacia la diversificación e innovación de alimentos funcionales.

  En conjunto, los resultados de esta investigación respaldan el potencial del *Tenebrio molitor* como ingrediente alternativo para la industria alimentaria, con aplicaciones viables en el desarrollo de productos de panadería. No obstante, se reconoce la necesidad de continuar investigando sobre las interacciones tecnológicas entre los componentes de la harina de insecto y otras matrices alimentarias, con el fin de garantizar la calidad, funcionalidad y aceptación del producto final.

8 Referencias

Aguilar-Miranda, E. D., López, M. G., Escamilla-Santana, C., & Rosa, A. P. (2002). Characteristics of Maize Flour Tortilla Supplemented with Ground *Tenebrio molitor* Larvae. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 192-195.

Allison, J. D., Paine, T. D., Slippers, B., & Wingfield, M. J. (2023). *Forest Entomology and Pathology.* Cham, Suiza: Springer.

Arias, J. P. (2018). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Revista Ingeniería y Región*, 1-11.

Arias, J. P. (2018). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Rev. Ingeniería y Región*, 1-11.

Azimi-Nejadian, H., & Hoseini, S. S. (2019). Study the effect of microwave power and slices thickness on drying. *Heat and Mass Transfer*, 2921–2930.

Bangur, R., Batey, I. L., McKenzie, E., & MacRitchie, F. (1997). Dependence of extensograph parameters on wheat protein composition measured by SE-HPLC. *Journal of Cereal Science*, 25, 237-241.

Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Jr., S. J., & Labuza, T. P. (2020). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications.* India: Wiley Blackwell.

Behera, B., & Balasubramanian, P. (2021). Experimental and modelling studies of convective and microwave drying kinetics for microalgae. *Bioresource Technology*, 125721.

Bernaert, N., Debonne, E., Leyn, I. D., & Bockstaele, B. V. (2022). Incorporation of leek powder (Allium ampeloprasum var. porrum) in wheat bread: Technological implications, shelf life and sensory evaluation. *LWT- Food Science and Technology* , 153, 112517.

Bottle, E., Espinosa-Ramírez, J., Serna-Saldívar, S. O., & Tejada-Ortigoza, V. (2024). Effect of full fat and defatted insect meals in breadmaking quality. *LWT- Food Science and Technology* , 191,115602.

Bourne, M. C. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology* , 3, 62-66.

Carrillo, M. D., Castro, M. I., Romo, F. P., & Armas, R. L. (1995). Fibra cruda y quitina en el crustáceo langostilla (pleuroncodes plunipes, stimpson): similitudes y diferencias. *Ciencias Marinas*, 179-186.

Castro, R. J., Oharab, A., Aguilara, J. G., & Dominguesc, M. A. (2018). Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 82-89.

Chaparro, S. P., Tavera, M. L., Martínez, J. J., & Gil, J. H. (2014). Propiedades funcionales de la harina y de los aisalados de proteicos de la semilla de guanábana (Annona muricata). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 17, 151-159.

Cruz-Solorio, A., Nueva-Arce, R. V., Aguilar, M. E., Leal-Lara, H., & Toro, G. V.-D. (2018). Functional properties of flours and protein concentrates of 3 strains of the edible mushroom Pleurotus ostreatus. *Food Science and Technology*, 55(10):3892-3901.

Díaz, E., Albino, S., & Guillén, A. (s.f.). *Inecol*. Obtenido de Inecol: http://inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1436-tenebrios-viscosos-pero-sabrosos

Dreassi, E., Cito, A., Zanfini, A., Materozzi, L., Botta, M., & Francardi, V. (2017). Dietary fatty acids influence the growth and fatty acid composition of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Lipids*, 285-294.

Durance, T., & Yaghmaee, P. (2011). MicrowaveDehydrationofFoodandFoodIngredients. *Comprehensive*, 4, 617-628.

Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información Tecnológica*, 30, 3-10.

FAO. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security.* Roma, Italia: FAO.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI).* Roma, Italia: FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO.

Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., & Cuthbert, R. D. (2017). A rapid extensigraph protocol for measuring dough viscoelasticity and mixing requirement. *Journal of cereal science* , 99-107.

Gantner, M., Król, K., Piotrowska, A., Sionek, B., Sadowska, A., & Wiacek, K. K. (2022). Adding Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder to Wheat Bread: Effects on Physicochemical, Sensory and Microbiological Qualities of the End-Product. *Molecules*, 21-6155.

García-Álvarez, J., Salazar, J., & Rosell, C. (2021). Ultrasonic study of wheat flour properties . *Ultrasonics*, 51, 223- 228.

García-Gómez, B., Fernández-Canto, N., Vázquez-Odériz, M. L., Quiroga-García, M., Muñoz-Ferreiro, N., & Romero-Rodríguez, M. Á. (2002). Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads. *Food Control*, 134 - 108765.

Gichau, A. W., Okoth, J. K., & Wanjala, A. M. (2019). Use of Peroxide Value and Moisture Content as a Measure of Quality for Amaranth-Sorghum Grains Based Complementary Food. *Nutrition and Food Technology: Open Access*, 5 (2).

Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *Eur Food Research Technology* , 216, 51–56.

González, C. M., Garzón, R., & Rosel, &. C. (2019). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of H. illucens, A. domestica and T. molitor flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51- 205-210.

Grausgruber, H., Hatzenbichler, E., & Ruckenbauer, P. (2003). Analysis repeated stickiness measures of wheat dough using a texture analyzer. *Journal of texture studies*, 69-82.

Guerrero, P. P., Sánchez, F. G., & Lozano, D. G. (2014). Infecciones por enterobacterias. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* , 11, 3276-3282.

Guiné, R. P., Santos, C., Rocha, C., Marques, C., Rodríguez, C., Manita, F., . . . Rodríguez, S. (2018). Whey-Bread, an Improved Food Product: Evaluation of Textural Characteristics. *Journal of Culinary Science & Technology* , 18,40-53.

Haber, M., Mishyna, M., Martínez, J. J., & Benjamin, O. (2022). The influence of grasshopper (Schistocerca gregaria) powder enrichment on bread nutritional and sensorial properties. *LWT- Food Science and Technology* , 115-108395.

Hall, N., & Scônfeldt, H. (2013). Total nitrogen versus amino acid profile as an indicator of beef protein content. *Food quemistry*, 608-612.

Hernández, A., González-Moya, M., Márquez, A., & Acevedo, L. (2024). Review microalgae drying: A comprehensive exploration from conventional air drying to microwave drying methods. *Future Foods*, 100420.

Hidalgo, A., Fongaro, L., & Brandolini, A. (2014). Wheat flour granulometry determines colour perception. *Food Research International*, 64, 363-370.

Horra, A. E., Seghezzo, M., Molfese, E., Ribotta, P., & León, A. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*, 29, 81-89.

Hoseney, R. C., & Smewing, J. O. (1999). Review paper instrumental measurement of stickiness of doughs and other foods. *Journal of texture studies a journal for food oral processing research*, 123-136.

Huang, S., Wang, L. M., Sivendiran, T., & Bohrer, B. M. (2018). Review: Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2673-2678.

Jødal, A.-S. S., & Larsen, K. L. (2021). Investigation of the relationships between the alveograph parameters. *Scientific reports* , 11, 5349.

Khanal, P., Pandey, D., Geir Naess, A. R., j, A. J., Maia, M. R., timilsina, B., . . . Overrein, H. (2023). Yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) as an alternative animal feed source: A comprehensive characterization of nutritional values and the larval gut microbiome. *Journal of Cleaner Production*, 136104.

Kim, H.-W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., & Jones, O. G. (2016). Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 116-123.

Kim, S. Y., Bin, P. J., Lee, Y. B., Yoon, H. J., Lee, K. Y., & Jun, N. (2015). Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 1-5.

Kim, T.-K., Yong, H. I., Jeong, C. H., Han, S. G., Kim, Y.-B., Paik, H.-D., & Choi, Y.-S. (2019). Technical Functional Properties of Water- and Salt-soluble Proteins Extracted from Edible Insects. *Food Science of Animal Resources*, 39(4): 643-654.

Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., Skotnicka, M., & Mazurek, A. (2022). Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. *LWT- Fodd Science and Technology*, 159-113220.

Kowalski, S., Mikulec, A., Skotnicka, M., Mickowska, B., Makarewicz, M., Sabat, R., . . . Mazurek, A. (2022). Effect of the Addition of Edible Insect Flour from Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) on the Sensory Acceptance, and the Physicochemical and Textural Properties of Sponge Cake. *Polish journal of food and nutrition science*, 393–405.

Kvasnička, F., Kouřimská, L., Bleha, R., Škvorová, P., Kulma, M., & Rajchl, A. (2023). Electrophoretic determination of chitin in insects. *Journal of Chromatography A*, 463952.

Lomakina, K., & Míková, K. (2006). A Study of the Factors Affecting the Foaming Properties of Egg White – a Review. *Czech Journal of Food Sciences*, 24,(3): 110-118.

López, M. F., Ghnimi, S., & Liu, C. (2023). Willingness to consume insect-based food in France: Determinants and consumer perspectives. *LWT*, 185(9):115179.

López-Pino, J. I., Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., González-Ríos, H., & Peña-Ramos, F. A.-Z. (2021). Predicción de la resistencia térmica de Escherichia coli O157: H7 en carne molida de res en función de la temperatura y las concentraciones de carvacrol y grasa. *Biotecnia*, 32- 47-54.

Lound, L., Aleu, H., Broggi, L., Genaro, V., Tesouro, R., Favre, L., & Tofolón, S. P. (2017). Resistencia térmica de Salmonella. Efecto del pH y la actividad de agua. *Ciencia, docencia y tecnología suplemento*, 7.

Mishyna, M., Keppler, J. K., & Chen, J. (2021). Techno-functional properties of edible insect proteins and effects of processing . *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 56, 101508.

Nadolny, J. M., Flanagan, B. M., Shewan, H. M., Smyth, H. E., Best, O., & Stokes, J. R. (2025). Nutritional, functional and rheological properties of bunya nut flour as a versatile gluten-free option. *Food Research International*, 463, 115627.

NOM-247-SSA1. (2008). *Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificac.* Ciudad de México: DOF.

Oh, E., & Kim, Y. (2023). Influence of mealworms (*Tenebrio molitor* larvae) and their protein derivatives on the structural and rheological properties of tofu. *Food Hydrocolloids* , 1-11.

Oliveira, L. A., Pereira, S. M., Dias, K. A., Paes, S. d., Grancieri, M., Jimenez, L. G., . . . Lucia, C. M. (2023). Nutritional content, amino acid profile, and protein properties of edible insects (*Tenebrio molitor* and Gryllus assimilis) powders at different stages of development. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105804.

Oliveira, L. A., Pereira, S. M., Dias, K. A., Paes, S. d., Grancieri, M., Jimenez, L. G., . . . Lucia, C. M. (2024). Nutritional content, amino acid profile, and protein properties of edible insects (*Tenebrio molitor* and Gryllus assimilis) powders at different stages of development. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105804.

Ong, S. Y., Zainab-L, &. I., Pyary, S., & Sudesh, K. (2018). A novel biological recovery approach for PHA employing selective digestion of bacterial biomass in animals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2117–2127.

Pantoja, C. V., & Untiveros, G. B. (2010). Extracción y caracterización del aceite extraido de lasrvas del *Tenebrio molitor*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 407-414.

Park, J. B., Choi, W. H., Kim, S. H., Jin, H. J., Han, Y. S., Lee, Y. s., & Kim, N. J. (2014). Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*, 5-9.

Park, Y.-K., Choi, Y.-C., Lee, Y.-B., Lee, S.-H., Lee, J.-S., & Kang, S.-H. (2012). Fecundity, Life span, Developmental periods and Pupal weight of *Tenebrio molitor* L.(Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 126-132.

Pavlovich-Abril, A. (2023). Perspective chapter: Biaxial extensional viscosity in what dougs- effect of the use of xylanases. En A. Pavlovich-Abril, *Advances in Rheology of Materials* (pág. 2020). IntechOpen.

Pérez, E. J., & Verdú, F. M. (2007). *Medida de luz y color.* España: Universitat d' Alacant (Publicacions).

Pérez, M. R. (2022). *Insectos pequeños colosos de la evolución.* Andalucía, España: Editorial de la Universidad de Jaén.

Pyo, S.-H., Moon, C.-R., Park, S.-W., Choi, J.-y., Park, J.-D., Sung, J. M., . . . Son, Y.-J. (2024). Quality and staling characteristics of white bread fortified with lysozyme-hydrolyzed mealworm powder (*Tenebrio molitor* L.). *Current Research in Food Science*, 8, 100685.

Ramos-Elorduy, J. L. (2004). La Etnoentomologia en la alimentacion, la medicina y el reciclaje. *xonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento Hacia una Síntesis de su Conocimiento UNAM*, 329-413.

Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., & Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Veterinary Entomology*, 214-220.

Ravikumar, M., Srinath, M., & Prasad, M. G. (2023). Thermal modelling of microwave dehydration of fruit slice. *Case Studies in Thermal Engineering*, 103543.

Ravzanaadii, N., Kim, S.-H., Choi, W. H., Hong, S.-J., & Kim, N. J. (2012). Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. *International Journal of Industrial Entomology*, 93-98.

Reyes, L. A., & Meléndez, G. K. (2013). *Contenido de proteína, grasa, calcio, fósforo en larvas del escarabajo molinero (Coleoptera: Tenebrionidade: Tenebrio molitor L.) alimentadas con diferentes sustratos y fuentes de agua; para ser utilizadas como alimentación de animales silvestres. .* San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.

Roncolini, A., Milanović, V., Cardinali, F., Osimani, A., Garofalo, C., Sabbatini, R., . . . Aquilanti, L. (2019). Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. *Plos One*, 14, (2).

Rumpold, B. A., & Schluter, O. K. (2012). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res*, 802-823.

Sánchez-Mendoza, N. A., Ruiz-Ruiz, J. C., Ortiz, G. D., & Martínez, C. J. (2017). Techno-functional and biological properties of flour, isolated and majority protein fractions from seeds of Inga paterno. *CyTA - Journal of Food*, 15(3), 400–408.

Selaledi, L., Mbajiorgu, C. A., & Mabelebele, M. (2020). The use of yellow mealworm (T. molitor) as alternative source of protein in poultry diets: a review. *Tropical Animal Health and Production*, 7-16.

Selaledi, L., Mbajiorgu, C. A., & Mabelebele, M. (2020). The use of yellow mealworm (T. molitor) as alternative source of protein in poultry diets: a review. *Tropical Animal Health and Production*, 7-16.

Serna-Saldivar, S. O. (2016). Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes. Taylor & Francis Group.

Shin, C.-S., Kim, D.-Y., & Shin, W.-S. (2019). Characterization of chitosan extracted from Mealworm Beetle (*Tenebrio molitor*, Zophobas morio) and Rhinoceros Beetle (Allomyrina dichotoma) and their antibacterial activities. *Biological Macromolecules*, 72-77.

Smith, J. P., Daifas, D. P., El-Khou, W., & El-Khoury, J. K. (2004). Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 19-55.

Starr, C., Taggart, R., Evers, C., & Starr, L. (2018). *Biología: la unidad y la diversidad de la vida.* Ciudad de México, México: Cengage Learning.

Vandeweyer, D., Lenaerts, S., Callens, A., & Campenhout, L. V. (2017). Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control*, 71, 311-314.

Vega, L. C. (2019). Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal. Bogota.

Wee, M. S., Goh, A. T., Stieger, M., & Forde, C. G. (2018). Correlation of Instrumental Texture Properties from Textural Profile Analysis (TPA) with Eating Behaviours and Macronutrient Composition for a Wide Range of Solid Foods. *Food & Function*, 1-22.

Yi, L., Boekel, M. A., Boeren, S., & Lakemond, C. M. (2016). Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. *European Food Research and Technology*, 1285-1297.

Yi, L., Lakemond, C. M., Sagis, L. M., Eisner-Schadler, V., Huis, A. v., & Boekel, M. A. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141, 3341-3348.

Yildiz, O., Meral, R., & Dogan, I. S. (2012). Determination of Stickiness Values of Different Flour Combinations. *International Journal of Food Engineering* , 8, 1-13.