

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental

UDLAP®

**Efecto de tratamientos de freído sobre la calidad nutricional y las propiedades tecno-
funcionales de la harina de *Arsenura armida***

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la estudiante

Yaritzi del Carmen González Cruz

165337

Ingeniería en Industrias Alimentarias

Director

Dr. Jocksan Ismael Morales Camacho

Hoja de firmas

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la estudiante
Yaritzi del Carmen González Cruz, 165337

Director de Tesis

Dr. Jocksan Ismael Morales Camacho

Presidente

Dr. Aurelio López Malo Vigil

Secretario

Dra. María Teresa Jiménez Munguía

Índice	
1. Introducción.....	5
2. Justificación	7
3. Objetivos.....	8
3.1 Objetivo general.....	8
3.2 Objetivos específicos	8
4. Marco teórico.....	9
4.1 Insectos en la industria alimentaria.....	9
4.2 <i>Arsenura armida</i>	12
4.3 Valor nutricional de los insectos.....	15
4.4 Propiedades tecno-funcionales de los insectos	21
4.5 Propiedades físicas de los insectos	25
4.6 Tratamientos térmicos en insectos	26
5. Materiales y metodología	29
5.1 Materiales.....	29
5.1.1 <i>Arsenura armida</i>	29
5.1.2 Reactivos	29
5.2 Metodología	30
5.2.1 Preparación de las larvas de <i>Arsenura armida</i> a harina.....	30
5.2.2 Análisis proximal	30
5.2.3 Propiedades físicas	34
5.2.4 Propiedades tecno-funcionales.....	36
5.2.5 Perfil de proteínas.....	38
5.2.6 Análisis estadístico.....	39
6. Resultados y discusión	40
6.1 Composición proximal de las muestras	40
6.2 Propiedades físicas.....	45
6.3 Propiedades tecno-funcionales	50
6.4 Perfil de proteínas	59
7. Conclusiones.....	63
8. Perspectivas	65

9. Agradecimientos.....67
10. Referencias69

1. Introducción

La FAO estima que para el año 2050, habrá más de 9,000 millones de personas en el planeta, lo cual provocará un incremento del doble en la producción de alimentos para cubrir los requerimientos de la población (FAO, 2013). El crecimiento poblacional acelerado y, por ende, la alta demanda de alimentos, sobre todo de proteína animal provoca diversos problemas tanto ambientales, como industriales. La exploración de alternativas para producir alimentos a gran escala que sean amigables con el medio ambiente ha conllevado a que los insectos sean un valioso objeto de investigación (Pulido et al., 2020).

Los insectos presentan altos contenidos nutricionales, los cuales varían según la especie, la etapa de vida, el hábitat y la dieta. Asimismo, su preparación y el procesamiento al que sean sometidos (secado, freído u horneado) impactan en su valor nutricional. Sin embargo, en amplios términos, son una fuente importante de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, fibra, micronutrientes y algunas sustancias bioactivas (FAO, 2013). Por otra parte, diversos estudios han demostrado que la incorporación de algunos insectos en los alimentos no solo tiene efecto en su valor nutrimental, sino también en sus propiedades tecno-funcionales (Reyes, Pérez & Ibarra, 2021).

En México, la diversidad entomológica es amplia, por lo que este estudio se enfoca en las larvas de *Arsenura armida* (*A. armida*), conocidas comúnmente como *cuetlas*, *cueclas*, *tzats* o *polilla de seda gigante*. Este insecto pertenece a la familia de satúrnidos del orden *Lepidópteros* y se encuentra durante verano en los árboles de Jonote (*Heliocarpus appendiculatus*) en distintas regiones del país como en el sureste de Puebla, México (Melo, et al., 2016). Las larvas de *A. armida* son una fuente importante de proteína animal para los

habitantes locales, sobre todo en la Sierra de Zongolica, Veracruz y en la Sierra norte de Puebla, donde se preparan hirviendo las larvas en agua y sal o fritas con aceite vegetal, huevo y ajo (Mendoza & Sandoval, 2023).

A pesar de que la entomofagia ha sido practicada por diversas culturas desde hace años y representa una potencial alternativa para contribuir a la seguridad alimentaria debido a su gran aporte nutricional y beneficios ambientales, no es ampliamente aceptada, principalmente debido a la neofobia. La apariencia poco atractiva de los insectos y su consideración como tema tabú en las sociedades occidentalizadas son factores clave en esta falta de aceptación (Durán & Saavedra, 2021).

Además de promover su consumo a través de la educación, los tecnólogos en alimentos pueden apoyar la mayor aceptación de los insectos como alimento mediante la aplicación de diversas tecnologías que transformen tanto su aspecto físico como sensorial. Estas tecnologías podrían desempeñar un papel fundamental en hacer que los insectos sean más atractivos y apetecibles para los consumidores, ayudando así a superar las barreras culturales y psicológicas asociadas con su consumo. (Birman, Moshe & Lesmes, 2019). Por ejemplo, la fritura convencional es una técnica comúnmente empleada, en la cual los alimentos se introducen en aceite caliente. Por otro lado, la fritura con aire es una tecnología que consiste en circular aire caliente a una alta velocidad por el alimento con muy poco aceite. En ambas tecnologías, el alimento absorbe aceite que, con el incremento de la temperatura, sus propiedades organolépticas se ven modificadas, incluyendo sabor, color y aroma (Montes, et al., 2016).

En el presente trabajo, se analizó el efecto que distintos tratamientos de freído generan sobre la harina de *A. armida*. Para ello se realizó el análisis proximal, el análisis de las propiedades tecno-funcionales y la determinación de las propiedades físicas de las muestras tratadas.

2. Justificación

La demanda de alimentos de alta calidad es un gran desafío puesto que las tierras destinadas para el ganado y la agricultura son escasas y su expansión no es una alternativa sostenible. Del mismo modo, los océanos son sobreexplotados y el cambio climático, así como la escasez de agua afectan la producción de alimentos. Los insectos son una gran fuente nutricional y, diversos estudios han demostrado que, dependiendo del tipo y condiciones de crianza, poseen buenas propiedades tecno-funcionales; además poseen muchos beneficios ambientales en comparación con la crianza de ganado vacuno, por ejemplo, su alta eficiencia de conversión alimenticia, menor emisión de gases de efecto invernadero, menor generación de amoníaco y el uso de menos recursos, como tierra y agua. Por otra parte, la mayoría de los insectos, tradicionalmente consumidos, presentan menores riesgos de transmitir enfermedades o infecciones a los humanos (FAO, 2013).

Asimismo, este grupo biológico es accesible dada su distribución mundial, relativa facilidad de recolección y sus destacadas tasas de reproducción. Los insectos contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de hasta 10 veces menor cantidad de metano, 300 veces menor cantidad de óxido nitroso, dado que la alimentación de los insectos proviene de residuos de materia orgánica. Además, requieren menos alimento para

producir 1 kg de peso vivo, por ejemplo, para ganado vacuno se emplean 10 kg, mientras que para saltamontes únicamente 1.7 kg (González, 2015).

Finalmente, la transformación física del insecto ayuda a disminuir la neofobia alimentaria al convertirlo en una forma más atractiva o menos reconocible, como podría ser el caso de obtener harina. El proceso de freído ha demostrado ser una operación unitaria idónea para este propósito, ya que el uso de aceite mejora el sabor y la textura de los alimentos. Considerando además que numerosos productos alimenticios son sometidos a este proceso en la actualidad, resulta relevante explorar cómo las condiciones de freído podrían afectar las propiedades de *A. armida*. Por tanto, es esencial examinar el impacto que los tratamientos de freído podrían tener en aspectos como el valor nutricional, las propiedades físicas y la funcionalidad tecnológica de la harina de *A. armida*.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar el impacto de dos tratamientos térmicos (freído con aire y freído por inmersión) sobre las propiedades nutricionales, tecno-funcionales y físicas de la harina de *A. armida* para su posible aplicación como ingrediente alimentario.

3.2 Objetivos específicos

- a. Obtener harina de larvas de *A. armida* tratadas por freído por inmersión y freído con aire a condiciones de temperatura de 148.9 °C y 190.5 (300 y 375 °F, respectivamente).

- b. Realizar el análisis proximal de las muestras de harina de *A. armida* obtenidas después de freído por inmersión y de freído con aire para analizar el efecto de los tratamientos sobre las propiedades nutricionales de las harinas.
- c. Determinar el cambio en las propiedades tecno-funcionales (capacidad de retención de agua y aceite, capacidad emulsionante y espumante y viscosidad) de las harinas de *A. armida* obtenidas.
- d. Evaluar el impacto de los tratamientos térmicos en las propiedades físicas como el color, la densidad aparente y compactada de las harinas de *A. armida* obtenidas.
- e. Analizar el perfil de proteínas de las diferentes harinas de *A. armida*.

4. Marco teórico

4.1 Insectos en la industria alimentaria

La palabra insecto deriva del latín *insectum*, que significa “con cuerpo dentado o dividido” debido al hecho de que su cuerpo se encuentra seccionado en 3 partes. Son una clase de animales del grupo artrópodo con un exoesqueleto quitinoso, un cuerpo de 3 partes cabeza, tórax y abdomen, tres pares de patas articuladas, ojos y antenas y es uno de los grupos más diversos del planeta, representando más de la mitad de todos los organismos vivos conocidos (FAO, 2013).

Los insectos han sido reconocidos como el alimento del futuro por las Naciones Unidas debido a sus múltiples beneficios socioeconómicos, culturales, industriales, medioambientales, de salud, entre otros. Además, pueden ser altamente aprovechados dado que representan la mayor biomasa del mundo, la fuente documental más actualizada reporta cerca de 2100 especies de insectos. De este modo, la entomofagia, consumo de insectos,

desempeña un papel importante en la reducción del hambre mundial de una manera sustentable por múltiples argumentos (Pico et al., 2023).

Primero, la comercialización de insectos ofrece oportunidades a los sectores rural y urbano debido a que su bajo costo de producción hace redituable su inversión. Por ejemplo, en países del sur de África central y el Suroeste de Asia, la demanda de insectos es alta y es relativamente fácil conseguirlos, de este modo, el proceso de recolección, cría, transformación y comercialización de éstos está al alcance de pequeñas empresas o de mercados especializados en alimentos exóticos. A raíz de esto, se pueden generar nuevas tasas de empleo y, por ende, ingresos económicos para los pobladores de las regiones donde los insectos de interés sean de fácil acceso (Pico et al., 2023).

En términos industriales, resulta conveniente explorar técnicas para la producción o transformación de insectos en alimentos o aditivos alimentarios dado que los recursos necesarios para la producción de éstos son menores comparados a aquellos que la ganadería tradicional demanda. Un claro ejemplo es el espacio porque para producir un kg de carne de res se necesitan 250 m², mientras que para obtener un kg de insecto se necesitan 0.5 m² (Ortiz & Cevallos, 2023).

Por otro lado, el empleo de insectos como aditivo alimentario o materia prima resulta en un producto con valor agregado gracias a su alto contenido de proteínas. Debido a que son animales de sangre fría, los insectos tienen una alta tasa de conversión del alimento en proteína. Por ejemplo, los grillos *Sphenarium purpurascens* necesitan 12 veces menos alimento que el ganado, 4 veces menos que las ovejas y menos de la mitad que cerdos y pollos para producir la misma cantidad de proteína (Rodarte, 2016; FAO, 2013).

Aunado a lo anterior, la producción de insectos también podría reducir los efectos medioambientales asociados con la producción de carne. Esto se debe a que los insectos se alimentan de residuos de materia orgánica, lo que reduce la cantidad de desechos y contribuye a la sostenibilidad del ciclo de nutrientes. Asimismo, esta alimentación a base de residuos conlleva a una reducción significativa en la emisión de gases de efecto invernadero y amoníaco, en comparación con la producción de carne convencional. Los insectos se consideran conversores eficientes de materia orgánica, la cual almacenan en su cuerpo como proteína y otros nutrientes. Algunos estudios revelan que 1.56 toneladas de insectos pueden descomponer 9 toneladas de residuos orgánicos y aprovecharlos para su conversión en nutrientes con altas tasas de eficiencia. Un ejemplo de este caso es *Hermetia illucens* ya que 1 gramo de huevos de este insecto tiene el potencial de transformar 35 kg de residuos orgánicos en 15 kg de fertilizante y 1.5 kg de proteína de alta calidad (Ortiz & Cevallos, 2023).

A pesar de los múltiples beneficios respaldados por diversos estudios, la aceptabilidad de los insectos como alimento es baja debido a su apariencia, la asociación de los insectos con la generación de enfermedades y la falta de información o disgusto por parte de los consumidores. Como alternativa para aumentar su aceptabilidad, los tecnólogos de alimentos han optado por transformar a los insectos comestibles en harina para emplearlos como un aditivo alimentario. Asimismo, se ha investigado la extracción de componentes de interés, como proteínas o ácidos grasos a partir de los insectos para utilizarlos como ingredientes alimentarios adicionales (Mintah et al., 2019).

Las maneras de procesar los insectos se dividen en tres grupos: insecto entero, molido o en pasta y extracto de proteína, grasa o quitina para fortificar un alimento. En algunas regiones tropicales, los insectos son consumidos enteros o únicamente se remueven sus alas o patas o incluso también se tuestan, fríen o hierven. En otras zonas, los insectos se muelen y añaden a alimentos con bajos contenidos proteicos para incrementar su valor nutricional. Además, esta es una buena forma para incrementar la incorporación de los insectos a la dieta. De igual manera, emplear los extractos de algún nutriente de interés para fortificar alimentos es una gran área de investigación (FAO, 2013).

Finalmente, es importante mencionar que la entomofagia es segura y no provoca riesgos para el ser humano si los insectos son consumidos adecuadamente. La mayoría de los insectos son más higiénicos que algunos crustáceos, como el camarón o la langosta ya que estos últimos se alimentan de carroña, mientras los insectos comen plantas y residuos orgánicos (Mitsubishi, et al., 2010). Según la FAO, no hay evidencia de casos de transmisión de enfermedades o parasitoides a humanos debido al consumo de insectos, siempre y cuando se asegure inocuidad en la manipulación y producción de los insectos, es decir, las mismas condiciones de higiene que se tienen con cualquier alimento (Pico et al., 2023).

4.2 *Arsenura armida*

A. armida es un insecto que pertenece al orden Lepidóptera, la familia Saturnidae y la subfamilia Arsenurinae. Comúnmente, este insecto es llamado cueclas, cuetlas, tzats, larvas gigantes o polillas de seda gigantes. Se puede encontrar en los árboles de Jonote (*Heliocarpus appendiculatus*) en diferentes regiones del país como en el sureste de Puebla durante el verano. Sin embargo, de manera general, habitan en América Central y del Sur, desde la zona

tropical de México hasta el sureste de Brasil. Son insectos grandes (85-145 mm) y coloridos que se agrupan entre 20 a 40 individuos (Cortazar et al., 2023; Melo et al., 2016; Mendoza & Sandoval, 2023).

Físicamente, las larvas jóvenes son amarillo brillante con anillos negros y cabezas rojas, pero cuando crecen, su color cambia a café oscuro con protuberancias negras y espinas, además de finos anillos de color amarillo/naranja, lo que indica que el insecto está listo para recolectarse para su consumo. Son insectos herbívoros que se alimentan de hojas de árboles, preferentemente de *Guazuma ulmifolia*, pero también, en segundo lugar, de árboles de los géneros *Annona*, *Bombax*, *Ceiba*, *Rollinia* y *Tilia* (Mendoza & Sandoval, 2023).

Su consumo es popular, especialmente en la Sierra de Zongolica, Veracruz; en la Sierra Norte de Puebla y en las tierras altas de Chiapas, entre otras regiones. Usualmente se preparan hirviéndolos en agua con sal, friéndolos con aceite vegetal, huevo y ajo (Mendoza & Sandoval, 2023).

De acuerdo con un estudio realizado por Melo et al. (2016), las larvas de *A. armida* son ricas en proteína (56.93 g/100 g) y contienen una valiosa fracción lipídica (14.76 g/100 g), que, aunque no es suficiente para cubrir los requerimientos diarios de este macronutriente, puede contribuir al enriquecimiento de alimentos. Asimismo, su contenido de carbohidratos (23.23 g/100 g) y fibra dietaria (2.13 g/100 g) podrían beneficiar en combinación con otras fuentes alimentarias para cumplir con los requerimientos nutricionales. Dado a que su contenido de humedad es bajo (6.58 g/100 g), los autores señalan que pueden ser fácilmente almacenados con bajo riesgo de descomposición debido a contaminación microbiana.

Asimismo, Cortazar et al. (2023) estudiaron la harina de *A. armida* no desgrasada y desgrasada. Los autores concluyeron que los componentes mayoritarios de ambas harinas eran proteína, carbohidratos y lípidos. El contenido de proteína fue mayor en la harina desgrasada (46.9 g/100 g) que en la no desgrasada (20.4 g/100 g), lo cual fue atribuido a la extracción de lípidos. En cuanto al contenido lipídico de la harina no desgrasada (24.0 g/100 g), este se encontraba dentro de los parámetros reportados para el orden Lepidoptera (8.81 a 56.65 g/100 g). El contenido de fibra dietaria fue comparable al contenido en vegetales, como trigo y almendras (7.8 a 12.6 g/100g). El contenido de humedad (2.3 a 4.1 g/100 g) reportado fue bajo. Finalmente, el contenido de carbohidratos disminuyó al desgrasar la harina (de 41.2 g a 28.7 g/ 100 g), posiblemente debido a la extracción lipídica que involucra la pérdida de carbohidratos solubles en solventes no polares, como hexano, utilizado en esta investigación.

Por otra parte, el análisis a las propiedades tecno funcionales exhibió que la capacidad de retención de agua es mayor en la harina desgrasada (275.6%). Las mediciones de viscosidad a las mezclas líquidas de *A. armida* ayudaron a determinar que eran fluidos no Newtonianos. Respecto a su capacidad espumante, mientras que la harina sin desgrasar no exhibió esta propiedad, la harina desgrasada en concentración de 5-10% (p/p) sí presentó capacidad espumante. En cuanto a su capacidad emulsionante, ambas harinas mostraron mayor capacidad (de 78.3 a 100%) y estabilidad de emulsión (de 92.43 a 100%) que otras harinas de insecto (de 20.8 a 67.33%), arroz, trigo o papa (de 37.31 a 41.92%) (Cortazar et al., 2023).

4.3 Valor nutricional de los insectos

Los insectos no son un grupo nutricionalmente homogéneo puesto que, de acuerdo con Pulido et al. (2020), el contenido de cada nutriente varía considerablemente de acuerdo con la especie, etapa de vida (estadio de metamorfosis), hábitat y dieta. Además, la forma comestible ideal y habitual de un insecto es en su etapa larvaria debido a que el cuerpo es menos esclerótico y más nutritivo (Pico et al., 2023). En general, los insectos son una buena fuente de proteínas, lípidos, energía, vitaminas y minerales. Muestra de ello son las larvas de la Familia Lepidoptera que 100 g proveen 76% de la cantidad diaria requerida de proteínas y casi el 100% de la cantidad requerida de vitaminas para humanos (Rumpold & Schluter, 2013).

La proteína destaca como el nutriente principal en los insectos, siendo rico en aminoácidos esenciales. De este modo, se han reportado los siguientes rangos de contenido proteico de acuerdo con el orden de insecto: el orden Coleóptera posee un contenido entre 20-71% (escarabajos y larvas), el Díptera 36-70% (libélulas), Hymenoptera entre 10-62% (abejas y hormigas), Lepidóptera entre 13-64% (orugas y polillas) y Ortóptera entre 27-76% (grillos, saltamontes) (Sánchez et al., 2014).

La digestibilidad de las proteínas de insecto es alta ya que se encuentra entre 78-98%. Asimismo, su composición de aminoácidos es importante debido a que las proteínas de insectos contienen muchos aminoácidos esenciales; los principales son el ácido glutámico, el aspártico, la fenilalanina y la alanina para el orden Lepidóptera, Ortóptera, Coleóptera y Díptera, mientras que para el orden Hemiptera son prolina, leucina, tirosina, alanina, valina

y metionina y para el orden Hymenoptera destaca el ácido glutámico, leucina y alanina (Sánchez et al., 2014).

Zielińska et al. (2015) estudiaron el contenido de proteínas de saltamontes (*Schistocerca gregaria*), así como los grillos domésticos tropicales (*Grylloides sigillatus*), informando que su contenido proteico es 76% y 70% del peso seco, respectivamente. Estos valores son similares al contenido de proteína del suero de leche (aprox. 87% del peso seco) y a los huevos de gallina (82.1%). Asimismo, los insectos previamente mencionados contienen la ingesta diaria recomendada por la OMS de metionina y cisteína, dos aminoácidos esenciales para mantener la salud de la piel, el cabello y las uñas y producir colágeno, respectivamente.

Un estudio realizado por Ekpo (2011) reveló que algunos insectos consumidos comúnmente en Nigeria, como orugas y termitas, contenían altos porcentajes de lisina y metionina, aminoácidos carentes en proteína de cereales. En 2022, Barrios et al., analizaron la composición nutricional de algunas especies de insectos comestibles en México y los chapulines (*S. purpurascens*) mostraron el mayor contenido de proteína cruda (53.44%), siendo este valor comparable a los contenidos de carne de diferentes fuentes animales.

Respecto al perfil proteínico de las harinas de insecto, un grupo de investigadores caracterizó las proteínas presentes en las Hormigas Santandereanas (*Atta laevigata*), donde identificaron bandas de pesos moleculares de 15.02 a 191.51 kDa, lo que sugiere la presencia de hasta 15 tipos de proteínas. De acuerdo con su análisis bibliográfico, determinaron que las proteínas identificadas podrían ser albúminas y globulinas, proteínas de importancia para

movilizar sustancias importantes por el cuerpo y combatir infecciones, respectivamente (Romero, 2023).

El extracto etéreo es el segundo componente más importante en los insectos ya que su contenido oscila entre 13% en grillos o saltamontes y 33% en larvas de escarabajos; no obstante, el contenido de ácidos grasos es mayor en la etapa larval del insectos que en su fase adulta. Se ha demostrado que los insectos representan una buena fuente de ácidos grasos poliinsaturados esenciales (linoleico y linolénico) y sus contenidos son comparables con el pescado y las aves de corral. Así, se han situado como una alternativa de alimento saludable. No obstante, la mayor parte del contenido de grasas en los insectos proviene de la dieta, por lo que este factor influirá directamente en su composición lipídica (Pulido, et al., 2020; Santurino, et al., 2016).

La composición de la fracción lipídica de insectos indica un contenido promedio de ácidos grasos saturados de 31 a 42%, compuesto principalmente de ácido palmítico y esteárico. Mientras su fracción de ácidos grasos insaturados varía entre 22 a 49%, siendo el principal el ácido oleico, presente en todos los insectos. La fracción de ácidos grasos poliinsaturados se encuentra de 16 a 40%, constituida principalmente por ácido linoleico, linolénico y araquidónico, considerados nutrientes esenciales para el ser humano (Avendaño, Sánchez & Valenzuela, 2020).

Diversos autores han estudiado los lípidos de insectos, tal es el caso de Santurino et al. (2016), quienes extrajeron y analizaron la fracción lipídica de dos larvas: *Tenebrio molitor* y *Zophoba morio* y dos adultos: *Acheta domesticus* y *Locusta migratoria*. Según los resultados, destacó su elevado contenido de ácidos grasos insaturados, además de sus altos

valores de ácido oleico, linoleico y α -linolénico. Asimismo, se concluyó que el contenido de grasa en las larvas (32.33% de *T. molitor* y 40.19% de *Z. morio*) fue superior al contenido obtenido en los especímenes adultos (15.25% de *A. domesticus* y 8.05% de *L. migratoria*), debido a que en insectos adultos el material lipídico se moviliza para atender la demanda energética producida por situaciones de estrés, el vuelo, la supervivencia y la reproducción.

Por lo tanto, debido a que los insectos representan una importante fuente de ácidos grasos, su sustitución por aceites convencionales para el consumo humano es prometedora. Varios estudios han demostrado que el mayor contenido de lípidos se ha encontrado en insectos del orden Lepidóptera (2-55%). Una investigación realizada por Sekobane, et al. (2023) demostró que la fracción lipídica de *Gonimbrasia belina*, *Tenebrio molitor*, *Rhynchophorus phoenicis* (especies del orden Lepidóptera) son dominantes en ácidos grasos insaturados, especialmente α -linolénico y linoleico (ácidos grasos poliinsaturados). De este modo, contienen suficiente ácido linoleico para cubrir los requerimientos humanos y avícolas (especies ponedoras, pollos y pavos).

Los lípidos presentes en los insectos desempeñan un papel importante en funciones estructurales y biológicas. Los ácidos grasos saturados (ácido palmítico y esteárico) contribuyen al sabor de los insectos, mientras que los poliinsaturados (especialmente omega 3 y omega 6) además de que mejoran la palatabilidad, ayudan a regular la fluidez de las membranas y participan en la síntesis y formación de ceras, feromonas, eicosanoides y secreciones de defensa. Asimismo, los ácidos oleicos encontrados en carne, huevos y pescado están presentes en insectos y ayudan a reducir la presión arterial y a curar enfermedades inflamatorias, inmunes y cardiovasculares (Musundire, et al., 2016).

Los carbohidratos en los insectos existen en forma de quitina y glucógeno. La quitina es un polímero considerado como fibra insoluble y, además, es un componente importante del exoesqueleto de los insectos ya que brinda soporte y protección. Por otro lado, el glucógeno es la principal fuente de energía almacenada en células y tejidos musculares, que permite a los insectos mantener sus funciones vitales y actividades físicas. El contenido de este macronutriente, al igual que del resto, varía según diversos factores. Sin embargo, en términos generales, se estima que el contenido de carbohidratos oscila entre 6.71% y 15.98%, mientras que el contenido de fibra cruda varía de 0.12% a 29% (Tae-Kyung, et al., 2019; Kouřimská & Adámková, 2016; Avendaño, Sánchez & Valenzuela, 2020).

La quitina es un compuesto de interés debido a que es el segundo polímero natural más abundante. De este modo, estudios se han enfocado en la producción de quitosano a partir de la extracción de quitina para su aplicación (Espinosa, et al., 2024). En la industria alimentaria, puede actuar como un suplemento dietario para reducir la grasa y el colesterol, un estabilizante, un agente espesante y conservador para prevenir el crecimiento de bacterias y mohos. Asimismo, el quitosano se considera un potencial polímero biológico biodegradable para utilizar como empaque de alimentos, tal es el caso de frutas y vegetales, donde se ha aplicado como un recubrimiento para prolongar la vida útil del alimento. Usualmente, la extracción de quitina se realiza de camarones, no obstante, se ha demostrado que los insectos son una buena fuente de este compuesto. (Krongdang, et al., 2023).

El contenido de humedad es bajo, lo que contribuye a la prolongación de su vida útil, se recomienda un contenido de 4 al 5% para reducir la actividad microbiológica (Awoniyi, Adetuyi & Akinyosoye, 2004). El método más recurrido para esto es el secado, que

contribuye a reducir las reacciones degradativas enzimáticas y microbiológicas. No obstante, al igual que el resto de los nutrientes, el contenido de humedad es variable ya que oscila desde 5.76% para *H. illucens* hasta 26.17% para la larva de *O. rhinoceros* (Vanqa, Vincent & Basitere, 2022).

El contenido de cenizas en los insectos fluctúa entre 3% para el orden Blattodea hasta 26% para el orden Díptera. Las cenizas corresponden al contenido mineral de los insectos, los cuales incluyen macrominerales, como calcio, magnesio, potasio, fósforo, y minerales traza, como hierro, manganeso, selenio y zinc. Sin embargo, estudios han reportado que el consumo del cuerpo entero del insecto eleva su contenido nutricional. Por lo tanto, desde un punto de vista nutricional, es mejor consumir el insecto completo (FAO, 2013).

Un estudio comparó los requerimientos de minerales de un hombre de 25 años y aquellos provenientes de la oruga mopane (*Imbrasia belina*) y se concluyó que este insecto es una excelente fuente de hierro. Esto debido a que la carne de res contiene 6 mg de hierro por 100 g de materia seca, mientras que su contenido en la oruga mopane (*Imbrasia belina*) es de 31 a 77 mg de hierro por 100 g. Asimismo, el contenido de hierro en la langosta migratoria (*Locusta migratoria*) varía de 8 a 20 mg por 100 g de materia seca, superando de igual manera el aporte de hierro de la carne de res. De manera general, la mayoría de los insectos igualan o superan el contenido de hierro de la carne de res. Por lo tanto, los insectos podrían ser utilizados para prevenir la anemia debido a su contenido de este mineral (Bukkens, 2005).

Respecto a las vitaminas, los insectos contienen una gran variedad de vitaminas solubles en agua o lipofílicas, tales como vitamina A, caroteno, vitaminas B1, B2, B6, D, E,

K, etcétera (Mitsubishi, et al., 2010). Bukkens (2005) demostró que la vitamina B1 (tiamina) varía de 0.1 mg a 4 mg por 100 g de insectos, la vitamina B2 (riboflavina) oscila entre 0.11 a 8.9 mg por 100 mg de materia seca. La vitamina B12 es variable, debido a que, por ejemplo, *Tenebrio molitor* y *Acheta domesticus* contienen 0.47 µg por 100 g y 5.4-8.7 µg por 100 g, respectivamente; sin embargo, otras especies de insectos tienen niveles muy bajos de vitamina B12. Los insectos no son buena fuente de vitamina A, sin embargo, se podrían combinar con otras fuentes y contribuir a los requerimientos diarios. En cuanto a la vitamina E, los niveles son altos, por ejemplo, *Bombyx mori* contiene 9.65 mg por 100 g de insecto (FAO, 2013).

4.4 Propiedades tecno-funcionales de los insectos

Además de las propiedades nutricionales, diversos estudios han demostrado que las proteínas presentes en los insectos presentan un amplio rango de propiedades tecno-funcionales, liderando un camino hacia el área tecnológica. Estas propiedades incluyen la capacidad de retención de agua y aceite que son importantes para la formulación de productos. Mientras que la capacidad emulsionante, la estabilidad de la emulsión, la capacidad espumante, la estabilidad de la espuma y la viscosidad son importantes para determinar la conveniencia de un aditivo a un sector de producción de alimentos (Sales, et al., 2023; Zielińska, 2023).

En 2022, Vanqa, Vincent y Basitere estudiaron la capacidad de retención de agua y aceite de tres harinas obtenidas a partir de insectos (*Gonimbrasia belina*, *Hermetia illucens* y *Macrotermes subhylanus*) a una concentración: 0.2 g/mL de agua o aceite. Los resultados fueron expresados en gramo de agua retenida por gramo de harina de insecto utilizada. Estos indicaron que la capacidad de retención de agua (CRAG) fue mayor en *M. subhylanus* (1.46

g/g), no existiendo diferencia significativa con la CRAG que *G. belina* exhibió (1.30 g/g), mientras que *H. illucens* mostró la menor capacidad (1.11 g/g). Esta diferencia en la CRAG podría ser debido a un mayor contenido de proteínas en *M. subhylanus*, que contiene mayores grupos hidrofílicos para enlazar moléculas de agua. Asimismo, se concluyó que estos valores son comparables a la CRAG de harinas de trigo o arroz (1.4-1.9 g/g).

En cuanto a la capacidad de retención de aceite (CRAC), los autores no encontraron diferencia significativa entre *H. illucens* (1.35 g/g) y *M. subhylanus* (1.48 g/g), mientras que *G. belina* mostró el valor más bajo (0.89 g/g). Los insectos analizados demostraron una baja CRAC en comparación con otros previamente estudiados, por ejemplo, *Gryllidae sp.* (2.02 g/g) o *A. domesticus* (3.37–3.52 g/g). Esta capacidad es importante ya que cuando las proteínas se unen con la grasa a través de acción capilar, se retiene el sabor y aumenta la palatabilidad del alimento. Los investigadores sugieren que debido a los bajos valores de CRAG y CRAC, estas harinas serían más adecuadas para sistemas alimenticios, donde no sea crítico retener humedad ni sabor (Vanqa, Vincent & Basitere, 2022).

Por su parte, Mintah et al. (2019) estudiaron la CRAG y CRAC en extractos de proteína de *Hermetia illucens* en una proporción 1.5 g de harina de insecto y 10 mL de agua o aceite de girasol. Los investigadores reportaron que el extracto proteico de *H. illucens* no tiene gran habilidad para retener el agua (1.32-1.36 g/g), empero, su CRAC es grande (2.70-3.40 g/g), lo cual podría ser de utilidad en alimentos cárnicos molidos u horneados, donde retener el sabor a través de la grasa o aceite es importante. A pesar de que la CRAG no es un valor grande, al compararlo con el valor de otros insectos, este extracto proteico se podría

utilizar en alimentos donde la unión de agua sea de importancia para favorecer el espesamiento y viscosidad de los alimentos, por ejemplo, en sopas.

En los alimentos procesados, las espumas mejoran la textura, la consistencia y la apariencia de los alimentos, por ejemplo, en postres. El mecanismo de formación de espuma involucra la migración, despliegue y reorganización de partículas en la interfaz aire-agua para reducir la tensión superficial (Villaseñor, 2021). Por su parte, las emulsiones son una mezcla homogénea de dos líquidos inmiscibles. Su formación y estabilidad es posible debido a la reducción de la tensión superficial en la interfaz aceite-agua gracias a la naturaleza anfifílica de las proteínas. Las aplicaciones funcionales de las emulsiones en la industria alimentaria son variadas, desde productos horneados, productos cárnicos, mayonesas y aderezos (Gravel & Doyen, 2020).

En 2021, Santiago, Fadel y Tavares llevaron a cabo la obtención de un aislado de proteína de grillo negro (*Gryllus assimilis*). Con la proteína aislada, prepararon varias dispersiones y algunas se calentaron a 65, 75, 85, 90 y 95 °C por 15 min, a otras se les añadieron 0.1, 0.3 y 0.5 M NaCl para determinar el impacto de la fuerza iónica en las propiedades tecno-funcionales. Y, por último, a las dispersiones con 0.1-0.5 M NaCl se calentaron por 15 min a 95 °C. Se evaluó la estabilidad de la espuma, y se determinó que el aislado de proteína de grillo negro (APGN) es un buen agente espumante después de haberse sometido a un tratamiento térmico, ya que esto incrementó su capacidad espumante (de 109 a 907-1170%), siendo similar a un agente espumante convencional, como un aislado de proteína de suero (APS, 1030%). Esto fue posible debido a que el despliegue parcial de proteínas en el tratamiento térmico pudo haber proporcionado una mejor y más rápida

adsorción de las proteínas en la interfaz aire-agua, formando una película más estable alrededor de las burbujas que promueven la formación de la espuma. Sin embargo, se determinó que la espuma que forma el APGN no es tan estable como la del APS (Santiago, Fadel y Tavares, 2021).

Por su parte, Zielińska (2023) estudió las propiedades emulsionantes de harina y extractos de proteína de tres especies de insectos: *Gryllus asinillius*, *Acheta domesticus* y *Zophobas morio*. Se observó la mayor capacidad emulsionante en las proteínas de *A. domesticus* (100%) y *Z. morio* (100%), mientras que *G. asinillius* mostró un valor ligeramente más bajo (97.78%). La estabilidad de estas emulsiones fue elevada (95.45 a 97.78%). Aunque las harinas desgrasadas tuvieron la capacidad emulsionante más baja, los valores aún rondaban el 90%. Entre las harinas sin tratamiento, *A. domesticus* exhibió la mayor capacidad emulsionante (96.36%). Se concluyó que la actividad emulsionante se potenció en los extractos proteicos debido a cambios en la estructura proteica durante la extracción, exponiendo los aminoácidos hidrofóbicos que interactúan con las moléculas lipídicas.

La gelificación térmica se basa en calentar dispersiones de proteína con diferentes concentraciones para determinar su concentración gelificante crítica (CGC), y resultó que el APGN podría ser un buen agente gelificante debido a que su CGC, es decir, la concentración mínima necesaria para que el gel se mantuviera al ser invertido fue 6.5% p/p a 90 °C por 15 min, mientras que un agente gelificante común, APS, requirió 6% p/p. Asimismo, al comparar la CGC de distintos insectos, por ejemplo, la larva de *Cirina forda* que requiere 14% p/p, se determinó que el APGN es mejor agente gelificante que otros insectos. Sin embargo, al añadir NaCl en una concentración de 0.3 M o mayor en una dispersión con la

CGC, la gelificación se ve afectada, pero en los casos que se encuentre en una concentración menor a la CGC, el aumento de fuerza iónica podría favorecer la agregación de proteínas, y por tanto la gelificación, lo que explica que puede ser posible que las interacciones electrostáticas entre las proteínas tratadas térmicamente y los agregados termo inducidos participen en la formación del gel (Santiago et al., 2021).

4.5 Propiedades físicas de los insectos

El color es un atributo sumamente importante en los productos alimenticios debido a que es una de las primeras propiedades que el consumidor juzga en la aceptación o preferencia de un producto. La medición de esta propiedad se lleva a cabo con un colorímetro. Los resultados se expresan como valores de color Hunter: L (luminosidad), a (el tono del eje verde (-) al rojo (+)) y b (el tono del azul (-) al amarillo (+)). En las harinas de insecto, el color está fuertemente asociado a su contenido de aceite (Haber et al., 2019).

Por su parte, la densidad aparente es una propiedad influenciada por la densidad de la partícula, la porosidad interna y el arreglo de partículas en el contenedor. Posee un impacto económico y funcional, por ejemplo, en la reducción de costos de empaque, facilidad de transporte y almacenamiento. Diversos estudios han demostrado una relación entre la densidad aparente y el contenido de proteína debido a que mayor proteína, menor densidad aparente (Vanqa et al., 2022). Por su parte, la densidad de la partícula está influenciada por el tamaño de partícula, que a su vez es un factor importante en el procesamiento de alimentos porque influye en la solubilidad, la uniformidad y la fluidez de los ingredientes y del producto terminado, asimismo afecta la textura y la sensación en la boca (Mermelstein, 2016).

4.6 Tratamientos térmicos en insectos

Debido a la baja aceptación del consumo de insectos, se ha recurrido a técnicas para mejorar sus cualidades sensoriales y físicas. En general, los insectos suelen procesarse por diferentes métodos que implican incrementos de temperatura: al vapor, asado, ahumado, freído, guisado o curado, entre otros. Asimismo, es común que se incorporen a botanas, papas o productos de repostería, empero, la producción de estos involucra varias unidades de operación, como tratamientos térmicos, que puede tener un efecto benéfico o perjudicial sobre las propiedades del insecto (David et al., 2018).

La cocción, especialmente el freído, es común antes de consumir insectos. Este proceso puede alterar las propiedades sensoriales del insecto, provocando la formación de compuestos aromáticos y modificaciones en su color y textura. Asimismo, la cocción puede inactivar microorganismos patógenos y enzimas, alargando la vida útil del insecto. En cuanto a sus propiedades nutricionales, la temperatura de estos procesos puede provocar la desnaturalización de las proteínas y la destrucción de los aminoácidos, además de causar autooxidación, oxidación térmica y fotooxidación en los lípidos y ácidos grasos durante la cocción, lo que afecta la calidad sensorial de los alimentos. Sin embargo, estos fenómenos no son exclusivos de los insectos, sino comunes en alimentos ricos en proteínas y lípidos (Opstvedt et al., 2003; Liang et al., 2024).

Existen muchas técnicas de freído, pero la convencional y más antigua es la que involucra la inmersión del alimento en grasas o aceites a altas temperaturas. Esto provoca que el agua salga del alimento y el aceite entre, generando cambios en la textura, sabor y color de los productos. No obstante, debido al gran contenido de aceite, este tipo de freído se

ha asociado con un incremento en enfermedades cardiovasculares y diabetes. Por lo tanto, diversas tecnologías han emergido para reducir esta problemática. El freído con aire caliente es una alternativa que sustituye al freído con aceite caliente, deshidratando el producto y ofreciendo propiedades sensoriales similares al freído convencional, pero con una menor absorción de grasa en el producto final (Rahman & Malik, 2023).

Hassan et al. (2008) analizaron el impacto del hervido y freído en el valor nutricional de la harina desgrasada de *Anacridium melanorhodon*. Los resultados del análisis proximal únicamente mostraron diferencia significativa en el contenido de humedad, que fue bajo para ambos casos, 5.47% para el insecto frito y 7.47% para el insecto hervido. Ambos mostraron altos contenidos de proteína: 67.75% y 66.24% para insecto frito y hervido, respectivamente. El contenido de cenizas del insecto hervido fue 5.53% y después del freído, 6.02%. Los porcentajes de fibra cruda fueron 8.38% para el insecto hervido y 7.32% para el insecto freído. En cuanto al contenido de lípidos, después del desgrasado, ambas muestras contenían 5.25%. Los carbohidratos fueron similares en ambos casos: 7.13% para la muestra hervida y 8.19% para la muestra frita. Además, se realizó un análisis de la digestibilidad in vitro de proteína y ésta disminuyó de 49.9% para la muestra hervida a 41.13% cuando la muestra fue freída.

Respecto al contenido de lípidos de los insectos analizados, hay un incremento en el contenido de las muestras en el siguiente orden: freído > sin tratamiento > secado al humo, por ejemplo, *R. phoenicis* contiene 65.60%, 62.15% y 56.70%, respectivamente. El mayor valor de lípidos en el freído podría estar asociado con la influencia del aceite empleado para el freído y el menor valor en el secado al humo podría deberse a pérdida durante el secado.

Asimismo, la concentración de colesterol aumentó de las muestras secadas al humo, luego aquellas sin tratamiento y con mayor contenido, las muestras freídas. Sin embargo, el análisis estadístico mostró que no existió diferencia significativa entre la muestra freída (514.63 mg/100 g) y sin tratamiento (500.50 mg/100 g), únicamente con la que fue secada con humo (295.20 g/100 g) (Edijala, Egbogbo & Anigboro, 2009).

Lee et al. (2019) estudiaron el efecto del tiempo y temperatura de calentamiento en las propiedades funcionales de las proteínas de *Tenebrio molitor* L. Para ello, se sometió un extracto de proteína de este insecto en un baño de agua a diferentes temperaturas (55 °C, 75 °C y 95 °C) por 20, 40 y 60 min. A medida que aumentaban la temperatura y el tiempo, se observó que la capacidad de retención de agua no fue afectada significativamente (1.02 a 1.18 g/g), mientras la capacidad de retención de aceite (CRAC) disminuyó, por ejemplo, a 55 °C varió de 1.62 a 1.18 g/g. Esto es explicado debido a que la temperatura de calentamiento colapsa la red de proteínas y, por ende, afecta las interacciones de los aminoácidos hidrófobos con el aceite, disminuyendo la CRAC.

En cuanto a las propiedades emulsionantes, tanto la capacidad (de 46.46% a 34.94%) como la estabilidad de la emulsión (de 87.59% a 69.39%) disminuyeron conforme el tiempo incrementó a cada diferente temperatura. Esto está relacionado con la desnaturalización de proteínas por calor, que causa un despliegue en las proteínas exponiendo los grupos amino no polares internos, lo que hace que se vuelva insoluble o contribuya a las interacciones proteína-proteína. Asimismo, se forman grupos tioles que promueven cambios en la floculación y coalescencia de las gotas. La capacidad espumante decreció significativamente (de 12.3% a 3.58%) con el incremento de la temperatura, mientras que la estabilidad de la

espuma incrementó (de 88.26% a 97.37%). Al igual que ocurre con las emulsiones, cuando la proteína se desnaturaliza por acción del calor, cambios estructurales ocurren, resultando en agregados que no forman fácilmente una película interfacial, reduciendo así la rigidez de la espuma (Lee, et al., 2019).

5. Materiales y metodología

5.1 Materiales

5.1.1 *Arsenura armida*

Las larvas de *A. armida* fueron recolectadas de los árboles de Jonote en Huaquechula, Puebla, México en la tercera semana de agosto de 2020. Se recolectaron cuando presentaron las características físicas que indican que están listas para consumirse: color café oscuro y tamaño aproximado de 10-12 cm (Landero, et al., 2012; Melo, et al., 2016). Las larvas se secaron con el método tradicional (salado al 30% p/p y tostado en comal), posteriormente las muestras almacenaron en bolsas de polietileno negras a -20 °C para su uso posterior. El aceite empleado para el freído convencional y freído con aire fue aceite vegetal puro de canola marca “Maravilla” y aceite puro de canola en aerosol marca “PAM”, respectivamente.

5.1.2 Reactivos

Todos los reactivos químicos empleados fueron de grado analítico: H₂SO₄ (Hycel, México), NaOH (Macron Fine Chemicals, Estados Unidos), H₃BO₃ (Merck, Darmstadt, Alemania), HCl (Fermont, Monterrey, México), rojo de metilo, el hexano y los reactivos empleados en el análisis del perfil de proteínas (tris(hidroximetil)aminometano, sulfato dodecil de sodio (SDS), acrilamida, persulfato de amonio (PSA), tetrametiletilenodiamina (TEMED) y trazas azul) son marca Meyer (Ciudad de México, México).

5.2 Metodología

5.2.1 Preparación de las larvas de *Arsenura armida* a harina

Se descongelaron las muestras almacenadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las larvas de *A. armida* se lavaron 5 veces con agua destilada (1:5 p/p) para remover la sal. Después del lavado, se secaron en un horno (Excalibur, Estados Unidos) a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 h. Luego, una parte de las larvas secadas se sometió a un proceso de freído convencional durante 2 min a $148.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($300\text{ }^{\circ}\text{F}$), y otra parte a $190.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($375\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante el mismo tiempo en una freidora (Hamilton Beach, Virginia, Estados Unidos), utilizando aceite vegetal. Asimismo, otra fracción de las larvas fue esparcida en una bandeja y se frió en una freidora de aire (Cuisinart, Estados Unidos) bajo las mismas condiciones que el método convencional, pero con una ligera aplicación de aceite vegetal en spray antes de la cocción.

A continuación, las muestras se colocaron sobre una servilleta absorbente para eliminar la mayor cantidad de aceite posible. Posteriormente, las cuatro muestras se sometieron a molienda en un procesador de alimentos (Nutribullet, Estados Unidos) a 10,000 rpm durante 12 s.

5.2.2 Análisis proximal

5.2.2.1 Determinación de humedad

Se llevó a cabo de acuerdo con el método de la AOAC (2000) 925.10 mediante secado en estufa (Elisa, México), el cual consiste en evaporar el agua contenida en la muestra. Se colocó aproximadamente 1 g de harina de *A. armida* en una placa Petri limpia y seca (que estuviera a peso constante). Posteriormente, se sometió a la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante. Antes de pesar, la placa con la muestra se enfriaba en un desecador por 30 min.

La determinación se realizó por duplicado para cada una de las cinco harinas. El contenido de humedad se calculó mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Ecuación 1. Cálculo de contenido de humedad, donde P_1 es el peso de la placa más la muestra (g), P_2 es el peso de la placa más la muestra seca (g) y m es el peso de la muestra (g).

5.2.2.2 Determinación de proteínas

Se realizó el método de Micro-Kjeldahl 960.52 (AOAC, 2000) con mínimas modificaciones, calculando el nitrógeno total contenido en la muestra. Primero, se pesaron 0.5 g de muestra de harina de *A. armida* y 0.5 g de mezcla catalítica (1% Se, 1.25% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 14.42% K_2SO_4). Posteriormente, se transfirió lo anterior a tubos de digestión (Labconco, Ciudad de Kansas, Estados Unidos), donde se adicionaron 5 mL de H_2SO_4 concentrado. Luego, los tubos se colocaron en el equipo de digestión (Labconco, Ciudad de Kansas, Estados Unidos), donde las muestras se digirieron a 120 °C por 30 min y después a 320 °C por 70 min. En cuanto los tubos alcanzaran la temperatura ambiente, se destilaron utilizando un equipo de destilación (Labconco, Ciudad de Kansas, Estados Unidos). Para ello, se adicionaron 10 mL de H_2O destilada y 10 mL de NaOH 40% p/v al tubo de digestión y en un matraz se colocaron 25 mL de H_3BO_3 y 3-4 gotas de rojo de metilo como indicador, el cual recibió el destilado de los tubos. Se destiló durante 8 min en el equipo. Después, se tituló el contenido del matraz utilizando HCl 0.1 N hasta el vire. De igual manera, se realizó la determinación del blanco. Las determinaciones fueron realizadas por duplicado para cada una de las cinco harinas.

Finalmente, se calculó el porcentaje de Nitrógeno contenido en la muestra (ecuación 2), empleando un factor de 4.76 de acuerdo con Janssen et al. (2017), quienes estimaron ese factor para el cálculo de contenido de proteína en larvas de insectos.

$$\% \text{ proteína} = \frac{(mL \text{ HCl} - mL \text{ blanco}) \times N \text{ HCl} \times 0.014 \times \text{Factor} \times 100}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

Ecuación 2. Cálculo de contenido de proteína

5.2.2.3 Determinación de lípidos

El contenido de lípidos fue determinado por el método 960.39 (AOAC, 2008) en un equipo Soxhlet (E-500 Büchi, Flawil, Suiza) empleando hexano como solvente. Primero, se pesó la harina de *A. armida* previamente seca en un dedal de papel y el peso fue registrado. Se colocó el dedal en el aparato Soxhlet y la extracción se programó a 25 ciclos de reflujo. Finalmente, se colocó el matraz en una campana de extracción y luego, se pesó para determinar el contenido de lípidos, que fue calculado con la ecuación 3. La determinación fue realizada por duplicado para cada una de las cinco harinas.

$$\% \text{ lípidos} = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \times 100$$

Ecuación 3. Cálculo de contenido de lípidos, donde m es el peso de la muestra, m_1 es el peso del matraz y m_2 es el peso del matraz con la grasa.

5.2.2.4 Determinación de fibra cruda

Se realizó siguiendo el método de la AOAC 962.09. Primero, se pesó y registró el peso de la harina de *A. armida* previamente desgrasada. La muestra se transfirió a un matraz Erlenmeyer que fue sometido a digestión ácida con 100 mL de H_2SO_4 caliente y llevado a ebullición

durante 30 min. Después, se llevó a cabo una filtración al vacío utilizando un embudo Büchner y una tela sintética. El residuo retenido en la tela se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Posteriormente, se transfirió el residuo a un matraz Erlenmeyer y se procedió a realizar una digestión básica mediante la adición de 100 mL de NaOH caliente y posterior, ebullición bajo reflujo durante 30 min. Nuevamente se filtró y se lavó hasta obtener un pH neutro. Por último, se transfirió el residuo a un crisol y se colocó en la estufa a 110 °C hasta peso constante. La determinación fue realizada por duplicado para cada una de las cinco harinas.

El contenido de fibra cruda se calculó mediante la ecuación 4.

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{(P_{cf} - P_{cc})}{P} \times 100$$

Ecuación 4. Cálculo de contenido de fibra cruda, donde P_{cf} es el peso del crisol más fibra cruda y ceniza (g), P_{cc} es el peso del crisol más cenizas (g) y P es el peso de la muestra (g).

5.2.2.5 Determinación de cenizas

Se realizó mediante el método 923.03 (AOAC, 2000), el cual consistió en pesar 0.5 g de harina de *A. armida* en un crisol de porcelana. Se colocó en la mufla a 500-550 °C hasta calcinar al rojo oscuro. Se enfrió en el desecador y se pesó. La determinación fue realizada por duplicado para cada una de las cinco harinas. Por último, se calculó el contenido de cenizas empleando la ecuación 5.

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{(P - p)}{M} \times 100$$

Ecuación 5. Cálculo de contenido de cenizas, donde P es la masa del crisol con las cenizas (g), p es la masa del crisol vacío (g) y M es la muestra (g).

5.2.2.6 Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia (ecuación 6).

$$\% \text{ carbohidratos} = 100\% - \% \text{ humedad} - \% \text{ proteínas} - \% \text{ lípidos} - \% \text{ fibra cruda} - \% \text{ cenizas}$$

Ecuación 6. Cálculo de contenido de carbohidratos

5.2.3 Propiedades físicas

5.2.3.1 Determinación de color

Se realizaron mediciones de color por triplicado para cada harina de *A. armida* utilizando un colorímetro CR-410 (Konica Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón). Las mediciones fueron registradas en el sistema CIE L*a*b*: luminosidad (L*) y color (a*, rojo; b*, amarillo). Además, se calculó la diferencia de color ΔE de acuerdo con la ecuación 7 (Mokrzycki & Tatol, 2011).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Ecuación 7. Determinación de la diferencia de color, donde ΔL , Δa y Δb son las diferencias en cada valor entre la muestra de referencia y la muestra de prueba.

5.2.3.2 Tamaño de partícula

La determinación se llevó a cabo por el método de tamiz. Se utilizaron 4 tamices sobrepuestos con mallas de diferentes aberturas (1.0 mm, 0.5 mm, 0.25 mm y 0.125 mm). Se utilizaron 2 g de cada harina de *A. armida* y se determinó el porcentaje de muestra retenido en cada malla con respecto al total de la muestra después de 50 movimientos manuales.

5.2.3.3 Densidad aparente y compactada

Las densidades fueron determinadas de acuerdo con el método descrito por Cortazar, et al. (2023). Para la densidad aparente, se pesaron aproximadamente 2 g de cada harina de *A. armida* y se vertieron en una probeta de 10 mL sin algún tipo de golpe o vibración. Posteriormente, para la densidad compactada, las mismas muestras fueron golpeadas manualmente por 30 veces en forma vertical en una superficie. Ambas pruebas fueron realizadas por triplicado para cada una de las cinco harinas. Las densidades aparente y compactada fueron calculadas con las ecuaciones 8 y 9, respectivamente.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{peso de la harina (g)}}{\text{volumen de harina sin golpe (mL)}}$$

Ecuación 8. Determinación de densidad aparente

$$\text{Densidad compactada} = \frac{\text{peso de la harina (g)}}{\text{volumen de harina después de golpes (mL)}}$$

Ecuación 9. Determinación de densidad compactada

Usando los valores obtenidos de densidad aparente y compactada, se calculó el índice de compresibilidad (IC) y el radio de Hausner (RH) de acuerdo con la ecuación 10 y 11, respectivamente.

$$IC = 100 \left(\frac{dC - dA}{dC} \right)$$

Ecuación 10. Determinación de índice de compresibilidad, donde dC es densidad compactada (g/mL) y dA es densidad aparente (g/mL).

$$RH = \left(\frac{dC}{dA} \right)$$

Ecuación 11. Determinación de radio de Hausner, donde dC es densidad compactada (g/mL) y dA es densidad aparente (g/mL).

5.2.4 Propiedades tecno-funcionales

5.2.4.1 Viscosidad

La viscosidad de las harinas de *A. armida* se determinó siguiendo el método reportado por Cortazar et al. (2023). Para cada muestra (sin tratamiento térmico, freído convencional a 300 °F y 375 °F y freído con aire a 300 °F y 375 °F), se prepararon suspensiones con agua destilada a diferentes concentraciones: 15 y 20% (p/v), las cuales se dejaron reposar por 30 min a temperatura ambiente (25 °C). Posteriormente, se realizaron las mediciones con un viscosímetro DV3TLV (Brookfield Engineering Laboratories, Estados Unidos), un adaptador de muestra y una aguja SC4-31. Se programó el equipo para que realizara mediciones a 150, 200 y 250 rpm cada 30 s durante 150 s (5 mediciones por velocidad). La prueba se realizó por duplicado para cada una de las cinco harinas.

5.2.4.2 Propiedades emulsionantes

Se evaluó la capacidad emulsionante y la estabilidad de la emulsión de las harinas de *A. armida*. Primero, para cada tratamiento, se prepararon suspensiones al 5, 10, 15 y 20% (p/v) con harina y agua destilada. Luego, se mezclaron 4 g de cada suspensión con 4 g de aceite de canola empleando un homogeneizador GLH-3005 (Omni-International, Estados Unidos) a 14,200 rpm por 1.5 min. Para la estabilidad de la emulsión, ésta se dejó reposar durante 30

min después del homogeneizado. Las propiedades emulsionantes fueron realizadas por duplicado para cada harina.

Para el cálculo de la capacidad emulsionante, se empleó la ecuación 12, mientras que la estabilidad de la emulsión se determinó mediante la ecuación 13.

$$\text{Capacidad emulsionante (\%)} = \frac{\text{altura de la capa en emulsión (mL)}}{\text{altura del contenido total (mL)}}$$

Ecuación 12. Determinación de capacidad emulsionante.

$$\text{Estabilidad de la emulsión (\%)} = \frac{\text{altura de la capa en emulsión después de 30 min (mL)}}{\text{altura de la capa en emulsión (mL)}}$$

Ecuación 13. Determinación de estabilidad de la emulsión.

5.2.4.3 Propiedades espumantes

Se evaluó la capacidad espumante y la estabilidad de la espuma. Primero, para cada tratamiento, se prepararon suspensiones al 5, 10, 15 y 20% (p/v) con harina de *A. armida* y agua destilada. Éstas fueron mezcladas utilizando un homogeneizador GLH-3005 (Omni-International, Estados Unidos) a 14,200 rpm por 1.5 min. Para la estabilidad de la espuma, la suspensión se dejó reposar durante 30 min después del homogeneizado. Las propiedades espumantes fueron realizadas por duplicado para cada harina. La capacidad espumante se calculó con la ecuación 14 y la estabilidad de la espuma mediante la ecuación 15.

$$\text{Capacidad espumante (\%)} = \frac{V_2 - V_1}{V_1}$$

Ecuación 14. Determinación de capacidad espumante, donde V_1 es el volumen inicial (mL) y V_2 es el volumen después del homogeneizado (mL).

$$\text{Estabilidad de la espuma (\%)} = \frac{V_{30}}{V_1} \times 100$$

Ecuación 15. Determinación de estabilidad de la espuma, donde V_1 es el volumen inicial (mL) y V_{30} es el volumen después de 30 min de reposo (mL).

5.2.4.4 Capacidad de retención de agua y aceite

Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada una de las cinco harinas de *A. armida* siguiendo el método propuesto por Cortazar et al. (2023). Primero, se pesaron 0.2 g de harina con 1 mL de agua destilada o 1 mL de aceite de canola en un microtubo. Posteriormente, se mezcló en un agitador vórtex Genie 2 (Scientific Industries, Inc., Nueva York, Estados Unidos) durante 20 s y se dejó reposar por 30 min a temperatura ambiente (25 °C). Después, se centrifugó a 13,800 g durante 5 min a temperatura ambiente. Finalmente, el agua o aceite se decantó y pesó, calculando la capacidad de retención de agua y aceite mediante la ecuación 16 y 17, respectivamente. Los resultados fueron expresados en g de agua o aceite por g de harina.

$$\text{CRAg o CRAc (\%)} = \frac{\text{g de aceite o agua retenido}}{\text{g de harina utilizada}} * 100$$

Ecuación 16. Determinación de capacidad de retención de agua o aceite (CRAg y CRAc, respectivamente).

5.2.5 Perfil de proteínas

Se realizó el perfil de proteínas de las harinas de *A. armida* mediante una electroforesis de gel de poliacrilamida de sodio dodecil sulfato (SDS-PAGE) siguiendo el método reportado por Cortazar et al. (2023) con mínimas modificaciones. Primero, se mezcló cada harina con

un buffer salino (20 mM Tris-HCl pH 7.5, 0.2 M NaCl y 6 M urea) en una proporción 1:20 (harina:buffer). Las preparaciones anteriores se mezclaron en un mezclador de rodillos (Equipar, México) por 24 h. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 6000 rpm por 10 min a 8 °C, se decantaron y se tomaron 100 µL del residuo que fueron mezclados con 100 µL de agua y 200 µL del buffer de carga (Tris-HCl 20 mM pH 8, EDTA 2 mM, SDS al 5% (p/v), 2-mercaptoetanol al 0.016% (p/v) y azul de bromofenol al 0.02%). Los tubos se colocaron en un baño seco por 8 min a 100 °C.

Para la preparación de los geles (1 mm de espesor), se mezclaron 4.05 mL de agua, 2.5 mL de Tris 1.5 M pH 8.8, 100 µL de SDS (10%), 3.3 mL de acrilamida (40%), 450 µL de PSA (10%) y 5 µL de TEMED. La mezcla anterior, llamada gel de corrida, se cargó en el molde de la cámara de electroforesis, donde además se añadieron 700 µL de isopropanol. Una vez que el gel de corrida se polimerizó, se lavó con agua destilada y se secó el líquido restante con papel filtro. Luego, se añadió el gel concentrador, el cual contiene 2.95 mL de agua, 1.25 mL de Tris 0.5 M pH 6.8, 50 µL de SDS (10%), 1.5 mL de acrilamida (40%), 50 µL de PSA (10%), trazas de azul y 10 µL de TEMED. Para la electroforesis SDS-PAGE, las muestras se aplicaron con micropipeta y la electroforesis se corrió a un voltaje de 100V.

5.2.6 Análisis estadístico

Todos los resultados se expresaron como promedio \pm desviación estándar y se sometieron a un análisis ANOVA y una prueba de comparación de Tukey con un nivel de confianza del 95% en Minitab (Minitab Inc., Estados Unidos de América). Antes del análisis en Minitab, se evaluó la homogeneidad y normalidad de los datos obtenidos.

6. Resultados y discusión

6.1 Composición proximal de las muestras

La composición proximal de las harinas sin tratamiento térmico, y las obtenidas después de freído convencional y freído con aire a 148.9 °C (300 °F) y 190.5 °C (300 °F) se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición proximal de las harinas de *A. armida*

Componente	Contenido (g/100g base seca)				
	ST	FC300	FC375	FA300	FA375
Carbohidratos	31.61 ± 1.52 ^a	18.57 ± 0.68 ^a	23.03 ± 8.41 ^a	29.85 ± 5.90 ^a	22.75 ± 1.28 ^a
Proteínas	30.68 ± 2.03 ^a	31.00 ± 0.68 ^a	27.80 ± 8.53 ^a	34.71 ± 5.32 ^a	38.63 ± 0.82 ^a
Lípidos	19.74 ± 0.16 ^c	38.11 ± 0.59 ^a	36.49 ± 0.58 ^a	23.30 ± 0.68 ^{b, c}	25.94 ± 1.77 ^b
Fibra cruda	2.99 ± 0.08 ^{a, b}	2.24 ± 0.36 ^b	3.13 ± 0.04 ^{a, b}	2.25 ± 0.19 ^b	3.73 ± 0.45 ^a
Cenizas	9.97 ± 0.66 ^a	8.58 ± 0.23 ^{a, b}	8.83 ± 0.44 ^{a, b}	7.84 ± 0.05 ^b	7.85 ± 0.00 ^b
Humedad	5.01 ± 0.07 ^a	1.52 ± 0.02 ^c	0.73 ± 0.01 ^e	2.06 ± 0.04 ^b	1.10 ± 0.11 ^d

ST, harina sin tratamiento; FC300, harina de larvas fritas convencionalmente a 300 °F; FC375, harina de larvas fritas convencionalmente a 375 °F; FA300, harina de larvas fritas con aire a 300 °F; FA375, harina de larvas fritas con aire a 375 °F. Cada valor es presentado como promedio ± desviación estándar (n=2). Las letras en superíndice indican los resultados de la comparación de Tukey, valores seguidos con letras diferentes (en cada fila) muestran diferencia significativa (p<0.05). Los carbohidratos se calcularon por diferencia.

El proceso de freído implica deshidratación (Rahman & Malik, 2023), por ende, el contenido de humedad en la harina proveniente de las larvas de *A. armida* freídas decrece debido a la evaporación del agua presente por las altas temperaturas de la operación. Como se puede observar en la Tabla 1, existe diferencia significativa (p<0.05) entre los tratamientos térmicos a las distintas temperaturas (freído convencional y con aire a 300 °F y 375 °F) con respecto al control y, además, se presenta diferencia significativa (p<0.05) entre los freídos del mismo tipo, pero diferente temperatura.

Los resultados exhiben que la muestra sin tratamiento presentó 5.01% de humedad, mientras que la máxima reducción se mostró en las harinas del insecto freídas convencionalmente, con valores del 1.52% y 0.73% para 148.9 °C (300 °F) y 190.5 °C (375 °F), respectivamente. Esta diferencia de reducción entre temperaturas se atribuye a la facilidad con la que las moléculas de agua son liberadas debido a una mayor acción del calor, lo que promueve su evaporación más rápida a temperaturas más altas. De manera similar, ese fenómeno se observa en el freído con aire, donde a 300 °F, el contenido de humedad es 2.06% y a 375 °F, es 1.10%. Esto respalda que para la harina de *A. armida*, las temperaturas más altas conducen a una mayor evaporación del agua presente en el alimento. Markmanuel & Godwin (2020) estudiaron el freído de las larvas de *Rhynchophorus Phoenicis* y obtuvieron resultados similares, a su vez los autores concluyeron que un menor contenido de humedad contribuye a la reducción de deterioro microbiano y, por lo tanto, mayor vida útil para las larvas.

Asimismo, Edijala et al. (2009) encontraron el mismo fenómeno de disminución significativa del contenido de humedad presentado en este estudio con larvas de *A. armida*, pero en larvas de *Rhynchophorus phoenicis* (24.30%) y *Oryctes monoceros* (32.25%) en comparación con la muestra sin tratamiento (64.70%). Los autores lo atribuyen principalmente al calentamiento que ocasiona pérdida de humedad.

Por otro lado, la Tabla 1 exhibe que el freído convencional fue más efectivo en la reducción de humedad que el freído con aire, probablemente debido a que la inmersión en aceite caliente propicia una transferencia de calor más eficiente, lo que resulta en una evaporación de agua más rápida.

El contenido de carbohidratos no mostró diferencia significativa entre la harina sin tratar y las harinas obtenidas después de los tratamientos térmicos ($p>0.05$); sin embargo, sí exhibe diferencias puntuales ya que se observa una ligera disminución (de 1.76 a 13.04%) en el porcentaje de carbohidratos en las harinas obtenidas después de someter las larvas a tratamientos térmicos. Los resultados son similares a los obtenidos por Edijala et al. (2009), quienes compararon la composición proximal de larvas de *Rhynchophorus phoenicis* y *Oryctes monoceros* sin tratamiento y freídas. Los autores reportaron que no existió diferencia significativa entre tratamientos, pero también se presentó una ligera disminución en las larvas crudas con respecto a las freídas. Para *R. phoenicis*, el contenido de carbohidratos disminuyó de 3.56 a 1.14%, mientras que para *O. monoceros*, de 51.62 a 49.54%.

De igual manera ocurre con el contenido de proteínas, a pesar de que los resultados no son diferentes significativamente ($p>0.05$), los porcentajes de proteína aumentaron ligeramente en las harinas de *A. armida* previamente freídas con aire, cuyos aumentos oscilan entre 4.03 y 7.95% para 148.9 °C (300 °F) y 190.5 °C (375 °F), respectivamente. Esto podría ser dado a que el freído redujo el contenido de humedad, otros nutrientes se concentraron, en este caso, proteínas (Bordin, et al., 2013). De este modo, la deshidratación fue mayor en el tratamiento a mayor temperatura (375 °F) y, por lo tanto, una mayor cantidad de agua se evaporó por efecto del calor y las proteínas presentes en el alimento se concentraron aún más que en el tratamiento a menor temperatura (300 °F). Esto indica un aumento en la proporción de proteínas en comparación con otros componentes, pero no la síntesis de nuevas proteínas durante el proceso de freído.

El fenómeno de concentración de proteínas tras el freído de las larvas de *A. armida* presentado en este estudio es similar al presentado por Saïdou et al. (2023), quienes estudiaron la influencia del tiempo de freído en la composición nutricional de *Macrotermes subhyalinus* e *Imbrasia obscura*. Los autores reportaron que durante los primeros 6 min de freído a 150 °C se observó un incremento del contenido de proteínas, mientras que después, se observó una disminución en el contenido de proteínas. Como se mencionó previamente, las larvas de *A. armida* fueron freídas por 2 min, exhibiendo un incremento de proteínas, coincidiendo con los hallazgos reportados por los autores. Sin embargo, según lo informado por Saïdou et al. (2023), es posible que haber prolongado el tiempo de freído de *A. armida* a más de 6 min habría resultado en una disminución del contenido de proteínas, similar a lo observado en *M. subhyalinus* e *I. obscura*. Esto podría atribuirse a la desnaturalización de las proteínas debido a la temperatura elevada o a la absorción de aceite causando una difusión de las proteínas en éste.

En cuanto al contenido de lípidos, sí hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras tratadas térmicamente (freído convencional y freído con aire) con respecto al control. No obstante, el mayor aumento se presentó en el freído convencional (de 19.74 a 38.11 y 36.49%, para 300 °F y 375 °F) debido a la inmersión total de las larvas de *A. armida* en aceite. Asimismo, se observa un incremento mayor en las larvas freídas a menor temperatura, esto podría ser debido a que la temperatura del aceite es un factor importante para la absorción de aceite por los alimentos tal como Montes et al. (2016) lo estudiaron. Mientras más caliente esté el aceite, los alimentos forman cortezas más finas y, por ende,

absorberán menos aceite debido a que existirá una menor penetración de éste por la barrera física que genera la corteza (Dunford, 2017).

Asimismo, Saïdou, et al. (2023) reportaron que la absorción de aceite varía de acuerdo con la estructura del insecto ya que, en su estudio, determinaron que *I. obscura* (60.07%) mostró un mayor incremento de lípidos debido a la absorción de aceite en el freído convencional que *M. subhyalinus* (1.64%). Mientras que, en este caso, las larvas de *A. armida* exhibieron un incremento de 16.75-18.37%. Estas diferencias en los valores son atribuidas a la altura (forma) y estructura del insecto ya que dependiendo de la matriz de su tejido absorbe más o menos aceite (Saïdou, et al., 2023).

Respecto al contenido de fibra cruda, no existió diferencia significativa ($p>0.05$) de las harinas de *A. armida* obtenidas después del freído con respecto al control (2.99%); sin embargo, sí se observan diferencias puntuales. En el freído convencional, a 148.9 °C (300 °F), se muestra un contenido de fibra cruda de 2.24%, mientras que a 190.5 °C (375 °F), 3.13%. Por su parte, para el freído con aire, la muestra tratada a 300 °F exhibe un 2.25% de fibra cruda y a 375 °F, 3.73%. Como se puede observar, se presenta un incremento en el porcentaje de fibra cruda en concordancia con el aumento en la temperatura. Esto podría atribuirse a la reducción de humedad, tal como ocurrió con las proteínas, la fibra cruda pudo haberse concentrado (Bordin, et al., 2013).

Finalmente, los tratamientos térmicos exhiben un impacto en el contenido de cenizas de harinas de *A. armida*. Sin embargo, existe una mayor disminución (aproximadamente 1.1%) e incluso diferencia significativa ($p<0.05$) en las muestras freídas con aire (de 9.97%

a 7.84 y 7.85% para 148.9 °C (300 °F) y 190.5 °C (375 °F), respectivamente) que en las muestras freídas convencionalmente (8.58% para 300 °F y 8.83% para 375 °F). A pesar de estas reducciones, las harinas de *A. armida* aún supera el contenido de la harina de trigo comúnmente empleada, cuyo rango oscila entre 1.5 y 2.0% (NDSU, 2020).

6.2 Propiedades físicas

La Tabla 2 presenta los resultados de las propiedades físicas de las harinas de *A. armida*, incluyendo mediciones de color, densidades, tamaño de partícula y cálculos relevantes para el análisis de cada determinación.

Tabla 2. Propiedades físicas de las harinas de *A. armida*

Muestra	L*	a*	b*	ΔE	DA	DC	IC	RH	TP
ST	35.33 ± 1.81 ^a	1.53 ± 0.06 ^c	12.89 ± 0.84 ^a	-	0.43 ± 0.02 ^a	0.51 ± 0.01 ^a	15.69	1.19	< 1.0
FC300	24.73 ± 1.06 ^c	1.08 ± 0.04 ^d	7.73 ± 0.58 ^c	11.80	0.39 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.01 ^b	18.75	1.23	< 1.0
FC375	24.78 ± 2.32 ^c	1.82 ± 0.13 ^b	9.86 ± 1.50 ^{b, c}	10.98	0.37 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.01 ^{b, c}	21.28	1.27	< 1.0
FA300	28.73 ± 0.78 ^b	1.98 ± 0.15 ^{a, b}	11.32 ± 0.42 ^{a, b}	6.80	0.39 ± 0.02 ^b	0.46 ± 0.01 ^c	15.22	1.18	< 1.0
FA375	30.26 ± 0.48 ^b	2.20 ± 0.07 ^a	12.89 ± 0.28 ^a	5.11	0.38 ± 0.01 ^b	0.46 ± 0.01 ^c	17.39	1.21	< 1.0

L*, luminosidad; a* y b*, coordenadas cromáticas; ΔE , diferencia de color; IP, índice de pardeamiento enzimático; DA, densidad aparente (g/mL); DC, densidad compactada (g/mL); IC, índice de compresibilidad; RH, radio de Hausner; TP, tamaño de partícula (mm). Cada valor es presentado como promedio ± desviación estándar (n=3). Las letras en superíndice indican los resultados de la comparación de Tukey, valores seguidos con letras diferentes (en cada columna) muestran diferencia significativa (p<0.05).

La evaluación del consumidor por un producto no se basa únicamente en factores intrínsecos, como el valor nutricional, sino también en factores extrínsecos, como el color.

El color de los alimentos es una propiedad de suma importancia para la elección y aceptación de un producto e incluso considerado como parámetro de calidad ya que, generalmente, éste influye en la percepción que el consumidor tiene sobre el sabor del producto (Zellner et al., 2018; Figueiredo et al., 2023).

Como se puede observar en los valores ΔE de la Tabla 2 y en la Figura 1, el mayor cambio de color ocurrió en las harinas provenientes de las larvas freídas convencionalmente con respecto al control. Según Finn (s.f.), un $\Delta E > 5$ indica que cualquier evaluador notaría a simple vista la diferencia en el color entre dos muestras. De acuerdo con esto, los cuatro tratamientos presentaron un cambio de color perceptible, no obstante, el autor declara que un mayor ΔE exhibe una mayor diferencia en el color, hecho que ocurrió en el freído convencional ($\Delta E=10.98$ y 11.80 para $148.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($300\text{ }^{\circ}\text{F}$) y $190.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($375\text{ }^{\circ}\text{F}$)). El cambio de color es un fenómeno esperado en este estudio debido a que ocurren reacciones de Maillard, es decir, interacciones entre carbohidratos y aminoácidos en presencia de calor, que desarrollan tonos dorados a marrones. Varios productos intermedios en esta reacción se polimerizan durante los freídos y forman moléculas de color oscuro, llamados melanoidinas (Bordin et al., 2013).

Los valores de luminosidad (L^*) exhiben diferencias significativas ($p<0.05$) entre las harinas provenientes de larvas freídas con respecto al control y entre las harinas provenientes del insecto freído por distinto método. Este valor se redujo de 35.33 (harina ST) a 24.73 - 24.78 (FC300 y FC375, respectivamente) y 28.73 - 30.26 (FA300 y FA375, respectivamente). No obstante, la mayor diferencia se presentó en el freído convencional, concluyendo que

estas muestras son menos luminosas o más oscuras, efecto de las reacciones ocurridas en el freído.

En cuanto a los valores a^* , los tratamientos fueron diferentes significativamente ($p < 0.05$) con respecto al control (1.53), la harina FC300 presentó un tono menos rojizo (1.08), mientras la muestra FA375 exhibió el tono más rojizo (2.20). Los valores a^* de FC375 y FA300 no presentaron diferencias significativas.

Los valores b^* de las harinas obtenidas de las larvas freídas con aire (11.32 y 12.89 de 148.9 °C (300 °F) y 190.5 °C (375 °F), respectivamente) no mostraron diferencias significativas con respecto al control (12.89); sin embargo, las harinas de larvas freídas convencionalmente son menos amarillentas (7.73 y 9.86 de 300 °F y 375 °F, respectivamente).

Las mediciones de color obtenidas para la harina sin tratamiento en este estudio son diferentes a los obtenidos para harina de *A. armida* por Cortazar et al. (2023), que fueron $L^*=17.08$, $a^*=0.68$ y $b^*=6.1$, posiblemente debido a la diferencia en la composición nutricional de las larvas de *A. armida*, ya que de acuerdo con Pulido et al. (2020), el contenido de los nutrientes varía de acuerdo con el hábitat y la dieta.

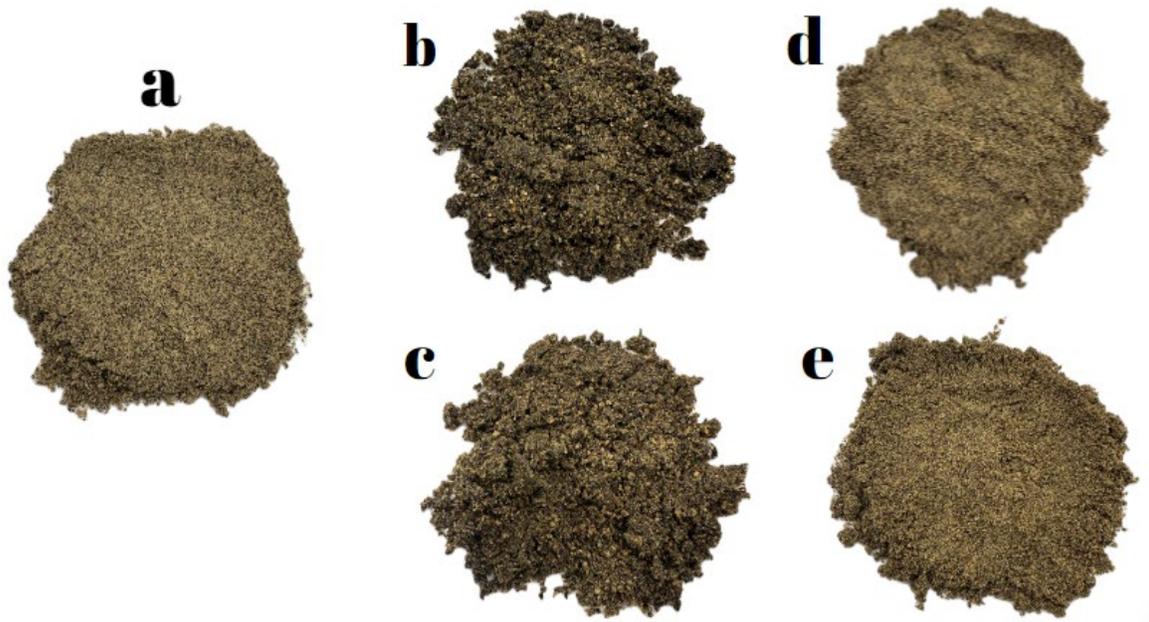


Figura 1. Diferencia de color entre las harinas de *A. armida*. a, sin tratamiento (ST); b, freído convencional a 300 °F (FC300); c, freído convencional a 375 °F (FC375); d, freído con aire a 300 °F (FA300) y e, freído con aire a 375 °F (FA375).

Por su parte, como se observa en la Tabla 2, los tratamientos térmicos presentaron cambios en la densidad de las harinas de *A. armida* ya que tanto la densidad aparente como la compactada disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) en las harinas obtenidas después de los freídos. La densidad aparente disminuyó de 0.43 g/mL (harina sin tratamiento) a 0.37-0.39 g/mL (harinas de las larvas freídas). Mientras que el mismo fenómeno fue presentado en la densidad compactada, la cual se redujo de 0.51 g/mL (harina sin tratamiento) a 0.46-0.48 g/mL (harinas de las larvas freídas). Este fenómeno de reducción de densidad podría explicarse debido a la pérdida de humedad durante el freído, haciendo que el volumen del insecto aumente y su masa permanezca constante, es decir, únicamente se crea espacio vacío

en el interior (Wang, Ngadi & Adedeji, 2010). Asimismo, podría ser que la absorción de aceite durante el freído convencional haya incrementado la densidad del alimento.

Finalmente, para determinar la fluidez de las harinas, se evaluaron los índices de compresibilidad (IC) y el radio de Hausner (RH). El índice de compresibilidad incrementó mayormente en las harinas de *A. armida* previamente fritas convencionalmente con respecto al control (de 15.69 a 18.75 y 21.28 para la harina de la larva freída a 148.9 °C (300 °F) y 190.5 °C (375 °F), respectivamente). De igual manera, el radio de Hausner aumentó en las harinas de larvas freídas convencionalmente. No obstante, utilizando la escala de fluidez, las harinas ST, FC300 y FA375 tienen un flujo “justo”, mientras que el flujo de la harina FC375 es “pasable” y el mejor flujo fue presentado por la harina FA300, definiéndose como “bueno” (USPPF, 2016).

En términos generales, el proceso de freído con aire es el que menos influye en la fluidez de las harinas de *A. armida* ya que no aumenta notablemente el IC ni la RH. Su ligero aumento podría deberse a la adición de aceite durante el proceso de freído, que afecta su fluidez. Debido a que valores bajos de IC y HR son preferibles, ya que indican una manipulación más sencilla del producto durante el procesamiento, reducen los costos de almacenamiento y transporte, y mejoran la calidad y textura del producto final (Suhag, Kellil & Razem, 2024), la harina de *A. armida* podría emplearse en procesos de freído con aire debido a que este proceso no afecta tanto su fluidez en términos de estos valores.

En lo que respecta al tamaño de partícula, el mayor porcentaje de cada harina de *A. armida* se quedó retenido en el primer tamiz con una malla de 1.0 mm, lo que indica que el tamaño de partícula de las harinas es relativamente grande. Sin embargo, hubo un incremento

en el porcentaje de retención de harina en el tamiz de 1.0 mm: sin tratamiento (75.03%) < freído con aire (89.54-89.63%) < freído convencional (98.29-98.51%). Esto podría atribuirse a la cantidad de aceite retenido por las harinas después de cada freído ya que en el freído con aire únicamente se involucra el rociado ligero previo, pero en el freído convencional, se trata de una inmersión total. De este modo, el aceite podría fungir como un líquido aglutinante que contribuye a la aglomeración de partículas individuales en partículas con tamaño más grande (Negreiros, et al., 2015).

6.3 Propiedades tecno-funcionales

Las propiedades tecno-funcionales estudiadas fueron la viscosidad, las propiedades espumantes y emulsificantes y la capacidad de retención de agua y aceite; los resultados son mostrados en las Tablas 3, 4 y 5, respectivamente.

La viscosidad es un factor de calidad importante en la mayoría de los alimentos debido a que, desde un punto de vista tecnológico, es importante para el bombeo y mezclado de los ingredientes en el procesamiento de un producto (Bourne, 2002). La siguiente Tabla muestra los resultados de la viscosidad de las harinas de *A. armida* a una concentración de 15 y 20% (p/v).

Tabla 3. Viscosidad de las harinas de *A. armida*.

Muestra de harina	Concentración % (p/v)	η (cP)		
		150 rpm	200 rpm	250 rpm
ST	15	3.84±1.35 ^{f, C}	6.40±0.00 ^{d, A}	5.12±0.00 ^{f, B}
	20	14.51±4.24 ^{b, c, d, A}	17.28±0.68 ^{b, A}	16.26±0.62 ^{b, A}
FC300	15	4.91±1.03 ^{e, f, A}	4.16±0.83 ^{d, A}	2.69±0.41 ^{g, B}

	20	14.08±2.29 ^{b, c, d, A}	12.32±1.08 ^{c, B}	10.11±0.73 ^{d, C}
FC375	15	18.13±1.81 ^{b, c, A}	14.56±4.62 ^{b, c, B}	10.24±1.21 ^{d, C}
	20	21.12±4.97 ^{b, A}	16.16±3.57 ^{b, B}	12.93±2.73 ^{c, B}
FA300	15	4.70±1.35 ^{f, A}	3.84±0.83 ^{d, A}	2.56±0.00 ^{g, B}
	20	12.59±3.82 ^{c, d, e, A}	12.80±1.69 ^{c, A}	10.88±1.09 ^{d, A}
FA375	15	9.81±4.63 ^{d, e, f, A}	11.68±2.93 ^{c, A}	8.06±2.63 ^{e, A}
	20	34.35±13.88 ^{a, A, B}	36.96±2.06 ^{a, A}	27.78±0.86 ^{a, B}

Cada valor es presentado como promedio \pm desviación estándar (n=10). Las letras en superíndice indican los resultados de la comparación de Tukey, valores con letras minúsculas diferentes muestran una diferencia significativa en cada columna ($p < 0.05$), mientras que valores con letras mayúsculas diferentes muestran una diferencia significativa en cada fila ($p < 0.05$).

Como es mostrado en la Tabla 3 y en los gráficos de los anexos (Figura 1-4), la mayoría de las suspensiones de las harinas de *A. armida* se comportan como un fluido adelgazante, es decir, un tipo de fluido no newtoniano ya que al aplicar una mayor velocidad de rotación (150 a 250 rpm), la viscosidad disminuye (Barman et al, 2016), sobre todo en las harinas obtenidas de larvas freídas. Asimismo, los resultados indican que, al aumentar la concentración de harina en la suspensión, su viscosidad también aumenta.

Los resultados demostraron que la muestra FC375 exhibió la mayor viscosidad a una concentración del 15% (p/v), mientras que las muestras ST, FC300 y FA300 mostraron la menor viscosidad. Por otro lado, la muestra FA375 presentó la mayor viscosidad a 20% (p/v) y las muestras FA300 y FC300 exhibieron la menor viscosidad en esta concentración. Estas diferencias en viscosidad entre los tratamientos pueden explicarse principalmente por dos factores.

En primer lugar, según Faisal et al (2017), la pérdida de humedad durante el freído incrementa la viscosidad del alimento debido a que hay una concentración del resto de los

componentes, promoviendo interacciones intermoleculares más fuertes y como consecuencia, un aumento de viscosidad. Las diferencias en el contenido de humedad entre las muestras (Tabla 1, sección 6.1) podrían explicar el aumento de la viscosidad en las muestras FC375 y FA375 en comparación con la muestra ST. Estas muestras experimentaron una mayor reducción en su contenido de humedad en comparación con la muestra control (ST), lo que podría haber contribuido significativamente al aumento de su viscosidad.

Además, otro factor que impacta en la viscosidad de las suspensiones de harina de *A. armida* es la capacidad de retención de agua (CRAg) debido a que se ha demostrado que a mayor CRAg, la viscosidad aumenta (Julianti et al, 2017; Lee et al, 2019). Esta relación puede explicarse principalmente por el hinchamiento de partículas, lo que conduce a un cambio en la movilidad de las moléculas y, por ende, a un aumento en la viscosidad.

No obstante, la viscosidad depende de diversos factores. Por ejemplo, a pesar de que la muestra ST exhibe mayor CRAg (49.12%) que la muestra FC375 (29.69%), ésta última es más viscosa. En este caso, como se explicó previamente, su menor contenido de humedad impacta en el aumento de la viscosidad (Faisal et al, 2017). Asimismo, el aceite durante el freído se degrada, produciendo compuestos polares, como diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres y glicerol, que actúan como agentes humectantes que reducen la tensión superficial entre aceite y agua, aumentando la absorción de aceite y un incremento de la viscosidad (Montes et al., 2016).

Asimismo, Cortazar et al. (2023) estudiaron la viscosidad de la harina de *A. armida* sin tratar y desgrasada. Los autores reportaron que la mayor viscosidad fue exhibida por la muestra desgrasada a 20% p/v a 150 rpm (55.0 cP), mientras que la mayor viscosidad en el presente estudio fue presentada por la muestra FA375 a 20% p/v a 150 rpm (36.96 cP). No

obstante, la muestra sin tratar mostró valores mayores de viscosidad en este estudio (para 15% p/v, de 2.84 a 6.40 cP y para 20% p/v, de 14.51 a 17.28 cP) que en el de Cortazar et al. (2023), donde para 15% p/v, ellos reportaron valores de 0.96 a 1.7 cP y para 20% p/v, de 2.3 a 4.3 cP. A pesar de esto, los resultados exhibieron un comportamiento de fluido no newtoniano de tipo adelgazante en ambas concentraciones, mismo caso de las harinas analizadas en este proyecto. Asimismo, los autores reportaron que este comportamiento es parecido al que otros concentrados de proteína exhiben (Cortazar, et al., 2023).

La Tabla 4 muestra los resultados del estudio a las propiedades espumantes y emulsificantes de las harinas de *A. armida*, ambas de suma importancia en la formulación de productos alimenticios.

Tabla 4. Propiedades espumantes y emulsificantes de las harinas de *A. armida*

Muestra	Concentración (% p/v)	Capacidad espumante	Estabilidad de la espuma	Capacidad emulsionante	Estabilidad de la emulsión
ST	5	NF	NF	100.0±0.00 ^a	50.0±0.00 ^g
	10	NF	NF	100.0±0.00 ^a	83.33±0.00 ^b
	15	NF	NF	100.0±0.00 ^a	83.33±0.00 ^b
	20	NF	NF	100.0±0.00 ^a	83.33±0.00 ^b
FC300	5	NF	NF	100.0±0.00 ^a	29.17±0.00 ^{h, j}
	10	NF	NF	100.0±0.00 ^a	40.00±0.00 ^h
	15	NF	NF	100.0±0.00 ^a	55.00±2.36 ^{f, g}
	20	NF	NF	100.0±0.00 ^a	66.67±0.00 ^{d, e}
FC375	5	19.05±0.00 ^{a, b, c}	84.00±0.00 ^a	100.0±0.00 ^a	25.00±7.07 ^j
	10	8.70±0.00 ^f	100.0±0.00 ^a	100.0±0.00 ^a	36.67±4.71 ^{h, i}
	15	8.00±0.00 ^f	100.0±0.00 ^a	100.0±0.00 ^a	50.00±0.00 ^g

	20	7.143±0.00 ^f	98.15±2.62 ^a	100.0±0.00 ^a	66.67±0.00 ^{d, e}
FA300	5	11.36±3.21 ^{d, e, f}	93.75±8.84 ^a	55.56±0.00 ^d	NF
	10	15.63±1.47 ^{c, d, e}	94.64±7.58 ^a	72.22±0.00 ^c	65.22±0.00 ^{d, e}
	15	9.00±1.41 ^{e, f}	93.60±3.81 ^a	77.78±0.00 ^b	100.0±0.00 ^a
	20	NF	NF	100.0±0.00 ^a	77.78±0.00 ^{b, c}
FA375	5	25.00±0.00 ^a	95.00±1.41 ^a	55.56±0.00 ^d	NF
	10	22.92±2.95 ^{a, b}	93.10±9.75 ^a	71.11±1.57 ^c	62.52±1.38 ^{e, f}
	15	18.00±2.83 ^{b, c, d}	93.22±0.16 ^a	77.78±0.00 ^b	71.43±0.00 ^{c, d}
	20	12.00±0.00 ^{d, e, f}	100.0±0.00 ^a	100.0±0.00 ^a	77.78±0.00 ^{b, c}

Cada valor es presentado como promedio \pm desviación estándar (n=2). NF, no formó. Las letras en superíndice indican los resultados de la comparación de Tukey, valores seguidos con letras diferentes en cada columna muestran diferencia significativa ($p < 0.05$).

Respecto a las propiedades espumantes, la formación de espuma únicamente estuvo presente en las harinas de *A. armida* FC375, FA300 y FA375, siendo mayormente favorecida en la última harina (25, 22.92, 18 y 12% para 5, 10, 15 y 20% (p/v)). Sin embargo, su estabilidad no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) en la mayoría de los casos, la cual se encontraba entre 84 y 100%. El comportamiento de las propiedades espumantes se puede explicar considerando que la muestra ST tiene una viscosidad menor debido a su mayor contenido de humedad, lo que dificulta la formación de espuma. En contraste, las muestras fritas con aire muestran una mejor capacidad espumante porque absorben menos aceite, lo que favorece la formación de espuma. Esto se puede atribuir al hecho de que muchos aceites y ácidos grasos actúan como agentes antiespumantes, según lo reportado por Deotale et al. (2023). Por lo tanto, es probable que el aceite absorbido durante el proceso de fritura convencional haya impactado en la formación de espuma en la muestra FC300 y a un bajo porcentaje en FC375.

Los resultados son comparables con los obtenidos por Cortazar et al. (2023), quienes reportaron que las harinas de *A. armida* sin tratamiento a las mismas concentraciones que este estudio (5, 10, 15 y 20%) no mostraron capacidad espumante. Sin embargo, la formación de espuma se vio favorecida únicamente en las harinas desgrasadas a 5 y 10% p/v con valores de 24.6 y 36.7%, respectivamente. Esto contribuye a la idea que algunos ácidos grasos podrían actuar como agentes antiespumantes (Deotale et al., 2023) y es por ello que, al desgrasar las harinas, mejoró su capacidad espumante. Asimismo, es importante mencionar que la estabilidad de la espuma fue mejor en las harinas FC375, FA300 y FA375 (de 84 a 100%) que en las harinas desgrasadas (36.7 a 89.4%) estudiadas por Cortazar et al., 2023.

Las harinas ST, FC300 y FC375 presentaron buena capacidad emulsionante (100%), pero, su estabilidad era baja a menor concentración, pero cuando ésta se aumentaba, la estabilidad también; para ST, la estabilidad más baja fue 50% a 5% (p/v) y la más alta a 83.33% en las concentraciones restantes; para FC300 y FC375, conforme la concentración aumentaba, la estabilidad de la emulsión pasó de 25-29.17% a 66.67%. Por su parte, las harinas proveniente de larvas freídas con aire (FA300 y FA375) aumentaban su capacidad emulsionante de 55.56% a 100% para ambos casos cuando su concentración aumentaba (5-20% (p/v)), mientras que su menor estabilidad fue nula a 5% (p/v) y la mayor fue 100% a 15% (p/v) para FA300 y 77.78% a 20% (p/v) para FA375.

La capacidad emulsionante pudo haberse visto favorecida en la muestra ST debido a que el contenido de humedad ayuda a la formación de la emulsión debido a que proporciona una buena superficie de interacción entre el agua y aceite y la distribución de las gotas es controlada por el contenido de agua (Peña & Ghosh, 2021). Asimismo, las propiedades

emulsionantes de las muestras FC300 y FC375 fueron favorecidas mayormente que las de FA300 y FA375 posiblemente debido a la absorción de aceite, que podría contener algunos lípidos con propiedades emulsionantes, como fosfolípidos (Juárez & Sammán, 2007).

Por su parte, Cortazar et al. (2023) informaron que las capacidades emulsionantes de las harinas de *A. armida* sin tratamiento y desgrasada eran buenas debido a que los valores para la formación y estabilidad de emulsión eran altos. Sin embargo, comparando los valores de las diferentes concentraciones (5, 10, 15 y 20% p/v), la harina sin tratamiento fue la que presentó mejor capacidad emulsionantes, cuyo fenómeno ocurrió de igual manera en este estudio. Por lo tanto, en el estudio de Cortazar et al. (2023) y el presente, esta capacidad podría ser favorecida por algunos lípidos, como se reportó por Juárez & Sammán (2007).

La capacidad de retención de agua es la habilidad de una matriz de proteínas para retener tanta agua por gramo de material como sea posible, esta propiedad es importante en la formulación de productos dado que mejora la textura y humedad del alimento. Por otro lado, la capacidad de retención de aceite se refiere al contenido de lípidos que puede ser absorbido por el alimento; esto está relacionado con el sabor y textura ya que influye en la retención de sabor, incrementando la palatabilidad en alimentos (Gravel & Doyen, 2020). La Tabla 5 muestra los resultados de ambas propiedades para las harinas de *A. armida*.

Tabla 5. Capacidad de retención de agua y aceite de las harinas de *A. armida*

Muestra	CRAg (%)	CRAc (%)
ST	228.59 ± 12.06 ^a	117.88 ± 1.90 ^a
FC300	178.93 ± 4.56 ^c	102.83 ± 4.62 ^b
FC375	141.32 ± 10.36 ^d	86.19 ± 3.56 ^c
FA300	204.13 ± 7.73 ^b	119.38 ± 7.18 ^a

FA375	176.40 ± 5.19 ^c	127.99 ± 5.65 ^a
-------	----------------------------	----------------------------

Cada valor es presentado como promedio ± desviación estándar (n=3). Las letras en superíndice indican los resultados de la comparación de Tukey, valores seguidos con letras diferentes en cada columna muestran diferencia significativa (p<0.05).

Respecto a la capacidad de retención de aceite (CRAc), los valores de las harinas freídas con aire (FA300 y FA375) no mostraron diferencia significativa (p>0.05) con respecto a la harina ST. No obstante, al igual que ocurrió con la CRAg, la CRAc disminuye en las muestras freídas convencionalmente, donde la muestra freída a mayor temperatura (FC375) exhibe la menor CRAc (86.19%).

Las reducciones mencionadas podrían atribuirse a que, como se mencionó anteriormente, las proteínas son las principales moléculas responsables de proporcionar las propiedades tecno-funcionales a los alimentos. En este caso, analizando la Figura 2 (sección 6.4), se evidencia que el freído convencional a 375 °C tuvo un impacto en las proteínas presentes en la harina de *A. armida*. Se observa una degradación de estas macromoléculas en distintos pesos moleculares (carril 4, FC375), donde incluso las proteínas más pequeñas se encuentran casi completamente degradadas. Según Aryee et al. (2018), en la CRAc, las proteínas más pequeñas retienen más lípidos que las proteínas de mayor tamaño y en la Figura previamente mencionada, la banda de bajo peso molecular (carril 4, FC375) está degradada, indicando una posible pérdida de estas proteínas y, por tanto, disminución en la capacidad de retención de aceite.

Asimismo, el argumento anterior explica por qué la CRAc no presentó diferencias significativas entre las muestras FA300 y FA375 con respecto a la muestra ST. La banda de bajo peso molecular para los 4 carriles (carriles 1, 3, 5 y 6) mostrados en la Figura 2 (sección

6.4) se encuentra fuertemente marcada, lo que indica la presencia de proteínas de bajo peso molecular que favorecen la retención de lípidos, de acuerdo a lo estudiado por Aryee et al. (2018).

En cuanto a la capacidad de retención de agua (CRAg), el mayor valor fue presentado por la muestra ST (228.59%) y el menor por la muestra FC375 (141.32%). La capacidad se afectó en menor medida en el freído con aire que en el convencional y en ambos casos, esta capacidad disminuyó significativamente ($p < 0.05$) al incrementar la temperatura del freído. Esto podría ser debido a que de acuerdo con un estudio realizado por Picard et al. (2017), los autores determinaron que las proteínas musculares, como la tropomiosina son responsables de retener el agua, al menos en carne. De acuerdo con la Figura 2 (sección 6.4), se identifica que la banda correspondiente a este tipo de proteína se sitúa alrededor de los 40 kDa. En la muestra ST (carril 1), la banda se distingue claramente, lo que indica presencia de estas proteínas. No obstante, la banda se desvanece ligeramente en las muestras freídas con aire (carril 5 y 6 para FA300 y FA375, respectivamente). Por otra parte, en el carril correspondiente a la muestra freída convencionalmente a 300 °F (carril 3, FC300), la banda sigue siendo visible, sin embargo, en la muestra FC375 (carril 4), la banda prácticamente está desvanecida, lo que sugiere una degradación de esta clase de proteínas, y por ende, una reducción en su CRAg.

Cortazar et al. (2023) reportaron valores de capacidad de retención de agua (CRAg) y aceite (CRAc) para harinas de *A. armida* sin tratamiento (222.5 y 118.7%, respectivamente) y para la harina desgrasada (121% CRAc y 275.6% CRAg). De este modo, los resultados obtenidos para la harina ST del presente estudio (228.59% CRAg y 117.88% CRAc) son

comparables con los presentados por Cortazar et al. (2023). Por su parte, la CRAg de las harinas obtenidas del insecto frito son menores a la exhibida por la harina desgrasa, empero la CRAc fue similar en las harinas de larvas freídas con aire (119.38 y 127.99% de FA300 y FA375, respectivamente).

6.4 Perfil de proteínas

El resultado de la separación de las proteínas tras la electroforesis en los geles de poliacrilamida (SDS-PAGE) se presenta en la Figura 2. Los pesos moleculares relacionados con cada banda se determinaron de acuerdo con la investigación realizada por Cortazar et al. (2023). Los autores compararon los resultados de su estudio de larvas de *A. armida* con los resultados obtenidos en análisis de proteínas previos de *Locusta migratoria*, donde Brogan et al. (2021) observaron las proteínas de la cutícula de la larva (14-31 kDa) y Chacon et al. (2000) identificaron las proteínas de estrés de abejas larvarias (16, 26, 29, 70 y 82 kDa). De igual manera, Yi et al. (2013) analizaron las proteínas de las larvas de *Tenebrio molitor* identificando las proteínas de la hemolinfa de la larva (aproximadamente a 12 kDa) y también algunas enzimas a 59 kDa. Asimismo, Purschke et al (2018) identificaron las proteínas del músculo como tropomiosina entre 40 y 100 kDa. Por último, Annadurai, Oberthür & Remboldm (1992) estudiaron las proteínas de *S. gregaria* y determinaron que algunos polipéptidos que oscilan entre 14-94 kDa podrían provenir del cerebro, hemolinfa y cuerpo cardíaco de estas especies de insectos.

Como se puede observar, las proteínas se dividen en dos grupos de acuerdo con su peso molecular (kDa): en azul aquellas proteínas de bajo peso molecular (4-16 kDa) y en rojo, las proteínas de alto peso molecular (24-220 kDa).

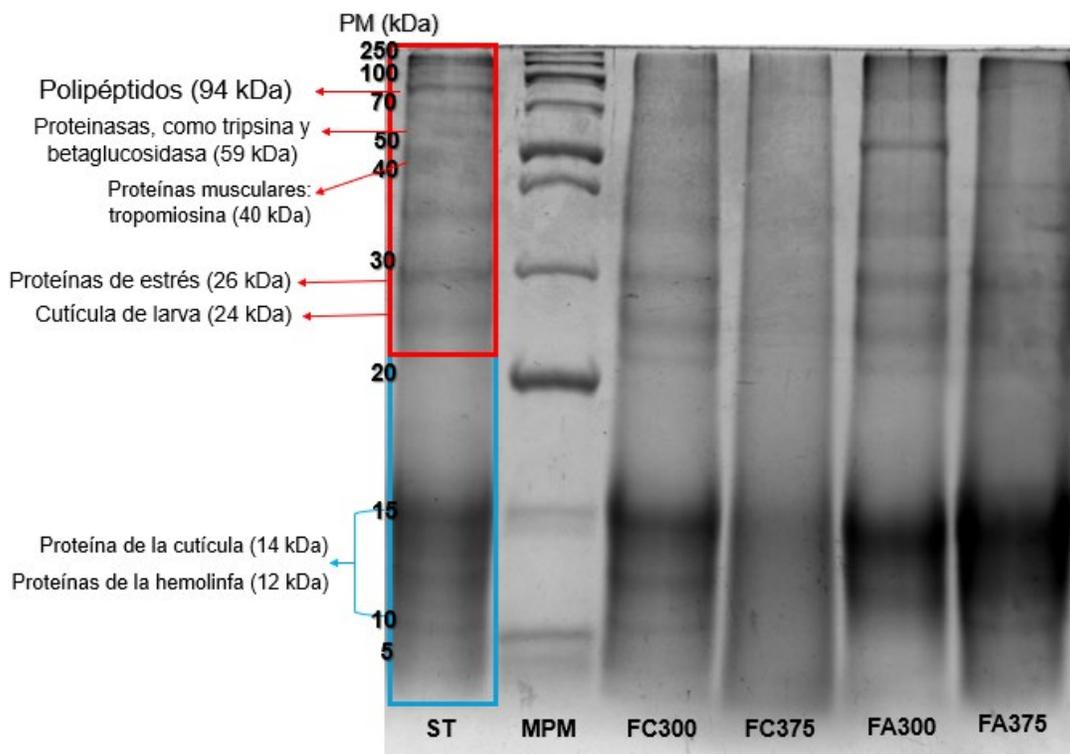


Figura 2. Proteínas solubles presentes en las harinas de *A. armida*. Carriles: 1 (ST), harina sin tratamiento térmico; 2 (MPM), marcador de peso molecular; 3 (FC300) y 4 (FC375), harina freída convencionalmente a 300 y a 375 °F, respectivamente; 5 (FA300) y 6 (FA375), harina freída con aire a 300 375 °F, respectivamente.

De acuerdo con la Figura 2, es evidente que los tratamientos térmicos sí tuvieron un impacto en el perfil de proteínas de las harinas de *A. armida*. No obstante, el efecto más notable se aprecia en el freído convencional, especialmente en el desvanecimiento de las bandas de proteínas de mayor peso molecular (PM), indicando así una ruptura y consecuente degradación de proteínas como polipéptidos, enzimas (proteasas, como tripsina y beta-glucosidasa) e incluso proteínas musculares. Esto siendo resultado de la reacción de Maillard, donde se producen alteraciones químicas de las proteínas, produciendo aminoácidos de menor tamaño que han perdido su conformación tridimensional (Voyer & Alvarado, 2019).

Este fenómeno se observa principalmente en la harina obtenida de las larvas sometidas a freído convencional a 375 °F (carril 4, FC375), lo cual sugiere una degradación e incluso ausencia de proteínas de alto PM por efecto de la temperatura, posiblemente, indicando una hidrólisis. Además, se nota una disminución en las proteínas de bajo PM, como las de la cutícula y la hemolinfa de la larva, ya que las bandas correspondientes a estos PM están menos marcadas en comparación con los demás carriles. Por lo tanto, se concluye que este tratamiento (FC375) fue el más influyente en las proteínas de *A. armida*.

En cuanto a la harina de las larvas sometidas a freído convencional a 300 °F (carril 3, FC300), no se aprecian las proteínas con un $PM > 100$ kDa, pero aún se observan, aunque difuminadas, las bandas de otras proteínas de gran PM, como ciertos polipéptidos, proteasas y proteínas musculares. Además, se observa que se preservaron mayormente las proteínas de bajo PM (< 30 kDa), especialmente las relacionadas con el estrés, la cutícula y la hemolinfa de la larva de *A. armida*, ya que estas bandas se mantienen visibles en esas áreas. Es posible que únicamente haya ocurrido una degradación de proteínas de alto PM a bajo PM, lo que explicaría por qué las bandas aún son identificables. Por lo tanto, el proceso de freído a 300 °F (148.9 °C) parece tener un efecto menor en las proteínas en comparación con el freído a 375 °F (190.5 °C), donde el perfil proteico experimenta cambios más notables.

Sin embargo, se observa un mayor efecto de las reacciones de Maillard en las muestras freídas convencionalmente debido a que se nota una degradación de las proteínas de alto PM que interactuaron con los carbohidratos en presencia de calor, generando proteínas de bajo PM. Esto coincide con que el mayor cambio de color fue el observado en estas muestras: FC300 y FC375 (Voyer & Alvarado, 2019).

Por otro lado, el proceso de freído con aire demostró ser más efectivo en la preservación de las proteínas presentes en la harina de *A. armida* en comparación con el freído convencional, como se evidencia por la mayor nitidez de las bandas en los carriles 5 y 6 (FA300 y FA375) en contraste con los carriles 3 y 4 (FC300 y FC375). No obstante, se observa que la mejor condición estudiada para la conservación de las proteínas fue a 300 °F, como se aprecia en el carril donde las bandas proteicas son más definidas en relación con la harina sin tratar (carril 1). La única degradación detectada es la posible degradación de las proteínas con un PM > 50 kDa, las cuales podrían haber sufrido ruptura y degradado a este peso molecular. Este fenómeno se respalda por la presencia de una banda más intensa en esa región (50 kDa) en comparación con otros carriles, mientras que las bandas de proteínas con PM superiores a 50 kDa se desvanecieron.

En cuanto al carril 6, que representa el perfil de proteínas después del proceso de freído con aire a 375 °F (FA375), se encuentra que es comparable con el carril 3 correspondiente al freído convencional a 300 °F (FC300). El fenómeno más destacado fue la degradación de las proteínas de alto peso molecular (PM) a bajo PM, como se evidencia por la intensidad mayor de las bandas en esta última sección y un desvanecimiento notable en las bandas de proteínas de alto PM.

Además, se determina que de acuerdo con el estudio de Yi et al (2016) a las proteínas de *Tenebrio molitor*, las proteínas de bajo peso molecular como las de la hemolinfa son más fácilmente digeribles que las proteínas musculares.

7. Conclusiones

Después de obtener las harinas de *A. armida* sin tratamiento y sometidas a freído convencional y con aire a 148.9 °C y 190.5 (300 y 375 °F, respectivamente), se determinó que el principal impacto de la composición proximal de las harinas fue en su contenido de humedad y lípidos. La humedad disminuyó mayormente en las muestras de las larvas freídas convencionalmente por la deshidratación durante el freído, mientras que el material etéreo incrementó como resultado de la absorción de aceite. A pesar de que estas variaciones fueron significativas, la fracción proteica, que es el componente nutricional más destacado en los insectos, no se vio afectado de manera significativa y únicamente mostró una ligera disminución en la concentración de moléculas bajo un tiempo de freído de 2 min.

Los resultados obtenidos en este estudio revelaron que, aunque el contenido de proteínas no fue impactado por el freído, su calidad sí experimentó cambios notables. Se observó una mayor degradación de proteínas en las harinas de larvas freídas de manera convencional, donde a 148.9 °C (300 °F) solo se evidenció la desaparición de las proteínas de alto peso molecular, mientras que las de bajo peso molecular se conservaron. Sin embargo, a 190.5 °C (375 °F), casi todas las formas de proteína se degradaron por completo. Por otro lado, las proteínas presentes en las harinas de larvas freídas con aire únicamente se degradaron de un alto peso molecular a un menor peso, lo que podría mejorar su digestibilidad, principalmente por la generación de proteínas de la hemolinfa.

Por otro lado, las propiedades tecno-funcionales de las harinas obtenidas de las larvas de *A. armida* experimentaron cambios al someterlas a los diferentes freídos. Todas las harinas mostraron un comportamiento de fluido no newtoniano adelgazante, donde, además, al

aumentar la concentración de harina en la suspensión (15-20%), la viscosidad aumentó. En términos tecnológicos, es importante mencionar que la muestra freída convencionalmente a 375 °F (FC375) mostró una mayor viscosidad a una concentración del 15% (p/v), mientras que la muestra freída con aire a 375 °F (FA375) exhibió el valor más alto a una concentración del 20% (p/v).

En relación con las propiedades espumantes y emulsionantes, se observó que la harina FA375 mostró una mayor capacidad espumante, mientras que la FC375 presentó una mejor capacidad emulsionante. En ambos casos, esto fue debido a la absorción de aceite que contiene tanto agentes antiespumantes como emulsionantes que afectan el desarrollo de estas propiedades tecnológicas. Además, se destacó que las harinas de las larvas freídas con aire demostraron una mayor capacidad de retención de aceite, mientras que las harinas ST y FA300 mostraron una mayor capacidad de retención de agua. Estas variaciones se relacionaron con la degradación de proteínas clave que influyen en la retención de agua o lípidos.

El estudio de las propiedades físicas reveló que las harinas de larvas freídas de forma convencional experimentaron el mayor cambio en el color, adquiriendo una tonalidad más oscura debido a las reacciones de Maillard. Las densidades de las harinas fueron alteradas significativamente por los procesos de freído, disminuyendo principalmente por la pérdida de humedad. De igual manera, la fluidez de las harinas se vio afectada, aunque en menor medida en las harinas de las larvas de *A. armida* freídas con aire. En cuanto al tamaño de partículas, se encontró que estas eran más grandes (>1.0 mm), posiblemente debido a la

aglomeración de partículas causada por la presencia de aceite en las harinas de larvas previamente freídas.

8. Perspectivas

Los avances logrados en esta tesis en el área de harinas de insectos han abierto puertas hacia investigaciones más profundas. Aunque se analizó el impacto de los tratamientos térmicos convencionales y con aire en el perfil de proteínas de *A. armida*, es esencial ampliar este estudio para incluir el análisis de perfiles de ácidos grasos y carbohidratos. Estas pruebas permitirían comprender mejor qué componentes lipídicos y polisacáridos son afectados por la temperatura, así como identificar posibles adiciones de lípidos durante la inmersión o el rociado con aceite.

Para el análisis tecno-funcional, sería interesante investigar si la aplicación de calor durante la preparación de suspensiones podría mejorar la medición de la viscosidad en diferentes concentraciones. De manera general, siguiendo las bases de este estudio, podría ampliarse la investigación a diferentes condiciones de tiempo de freído para definir qué sucedería con todas las características evaluadas en un periodo mayor a 2 min.

Las presentes perspectivas ofrecen líneas de investigación que podrían enriquecer el entendimiento del impacto de los tratamientos térmicos en las larvas de *A. armida*. Estas investigaciones no solo ampliarán el conocimiento existente en el estado del arte, sino que también contribuirán a la búsqueda de soluciones prácticas en el desarrollo de tecnologías innovadoras y el desarrollo de alternativas alimenticias. Por ejemplo, dado que la conveniencia de cada tipo de harina como ingrediente depende de la matriz alimentaria en la

que se pretenda aplicar, es crucial realizar un análisis detallado para comprender cómo cada harina contribuiría a las propiedades tecno-funcionales y físicas del producto final esperado. Además, sería relevante considerar si la composición nutricional de la harina apoyará la fortificación y el valor nutricional del alimento en cuestión.

9. Agradecimientos

A Dios, por permitirme la vida y por su infinita bondad, amándome y guiándome con fortaleza en todo momento.

A mis amados papás, Carmen y Julio, cuyo amor incondicional, sacrificio y apoyo han sido el motor que me impulsa a alcanzar mis logros. Su confianza en mí ha sido mi motor para alcanzar mis logros y sé que seguirán siendo mi luz en el futuro. A mi hermano, Max, compañero de alegrías, agradezco tu ánimo que me ayuda a perseguir mis sueños sin temor.

A mi familia, especialmente a mis abuelitos Toño y Tele, quienes desde el cielo me cuidan, a mis abuelitas Cande y Amparo, a mis queridos tíos, tías y primos. Les agradezco su amor, aliento y comprensión en cada desafío. Su presencia ha sido refugio y gran inspiración en mi vida, llenándola de luz y alegría.

A la Universidad de las Américas Puebla, por brindarme la educación de calidad y la infraestructura necesaria para el desarrollo de esta tesis.

A mis profesores por todo el conocimiento brindado y en especial, a mi director de tesis, el Dr. Jocksan Ismael Morales Camacho, por su orientación y dedicación en guiarme en este proyecto tan importante para mí. Su apoyo ha sido esencial en mi formación académica y personal.

A mi novio, Hariken, por ser mi compañero de sueños y mi motivación constante. Tu paciencia, compañía y amor han sido mi fuerza en momentos de cansancio y desafío. A mis queridos amigos, por su amistad sincera, alegría contagiosa y por caminar conmigo en esta etapa. Su apoyo y ánimo han sido fundamentales para seguir adelante.

Este logro lo comparto con ustedes, por inspirarme y compartir este camino conmigo. Por siempre estaré agradecida por creer en mí, por su amor y por ser parte de este capítulo tan importante en mi vida.

10. Referencias

Annadurai, R., Oberthür, W., & Remboldm, H. (1992). High resolution twodimensional mapping of tissue-specific polypeptides in the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Electrophoresis*, 13(1), 456–458. <https://doi.org/10.1002/elps.1150130195>

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (17th edición). Gaithersburg, Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Aryee, A., et al. (2018). Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. En R. Yada (Ed.), *Food Science, Technology and Nutrition, Proteins in Food Processing* (Second Edition) (pp. 27-45).

Avendaño, C., Sánchez, M. & Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Rev Chil Nutr*, 47(6), 1029-1037. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>

Awoniyi, T., Adetuyi, F. & Akinyosoye, F. (2004). Microbiological investigation of maggot meal, stored for use as livestock feed component. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2(3&4): 104–106.

Barman, P., et al. (2016). An Overview of Non-Newtonian Fluid. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 4(2), 97-101. 10.5958/2322-0465.2016.00011.3

Birman, T., Moshe, H. & Lesmes, U. Impact of thermal processing on physicochemical properties of silk moth pupae (*Bombyx mori*) flour and in-vitro gastrointestinal proteolysis in adults and seniors. *Food Research International*, 123, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.042>

Bordin, K., et al. (2013). Changes in food caused by deep fat frying – A review. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63(1), 5-13.

Bourne, M. (2002). En *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2° Ed.), pp. 73-81. Academic Press, California. USA.

Brogan, E., et al. (2021). Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silkworm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. *LWT- Food Science and Technology*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112314>

Bukkens, S., et al. (2005). En M. Paoletti (Ed.). *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 545-577. New Hampshire, Science Publishers.

Chacon, A., et al. (2000). Induction of heat shock proteins in the larval fat body of *Apis mellifera* L. bees. *Apidologie*, 31, 487–501. <https://doi.org/10.1051/apido:2000141>

Cortazar, S. et al. (2023). Nutritional composition and techno-functionality of non-defatted and defatted flour of edible insect *Arsenura armida*. *Food Research International*, 173, 113445.

David, T., Raptan, G. & Lesmes, U. (2018). Effects of thermal treatments on the colloidal properties, antioxidant capacity and in-vitro proteolytic degradation of cricket flour. *Food Hydrocolloids*, 79, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.044>

Deotale, S. et al. (2023). Foaming and defoaming—concepts and their significance in food and allied industries: a review. *Discov Chem Eng* 3, 9. <https://doi.org/10.1007/s43938-023-00025-6>

Dunford, N. (2017). Deep Fat Frying Basics for Food Services. *FOOD TECHNOLOGY FACT SHEET*. Oklahoma University. Recuperado de <https://extension.okstate.edu/factsheets/print-publications/fapc-food-and-agricultural-products-center/deep-fat-frying-basics-for-food-services-fapc-126.pdf>

Durán, R. & Saavedra, L. (2021). Entomofagia, ¿Una potencial alternativa para la seguridad alimentaria?: Una revisión narrativa. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 28(2), 1-13.

Edijala, J., Egbogbo, O. & Anigboro, A. (2009). Proximate composition and cholesterol concentrations of *Rhynchophorus phoenicis* and *Oryctes monoceros* larvae subjected to different heat treatments. *African Journal of Biotechnology*, 8(10), 2346-2348.

Ekpo, K. (2011). Effect of processing on the protein quality of four popular insects consumed in Southern Nigeria. *Arch. Appl. Sci. Res*, 3, 307–326

Espinosa, A., et al. (2024). Optimizing Chitin Extraction and Chitosan Production from House Cricket Flour. *Research on Polymer Processing Technology*, 12(3), 464. <https://doi.org/10.3390/pr12030464>

Faisal, S., et al. (2017). Response surface analysis and process optimization of twin screw extrusion of apple pomace blended snacks. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(11), 1499–1506.

FAO. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper*, 1-201. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>

Figueiredo, V., et al. (2023). The impact of color on food choice. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26, 2022088. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08822>

Finn, J. (s.f.). How is color measured? Calculating Delta E. *ALPOLIC Metal Composite Materials*. https://www.alpolic-americas.com/wp-content/uploads/2021/05/Final_Calculating-DE-Color-White-Paper-041221.pdf

González, J. (2015). Insectos como alimento y manejo de residuos. *Éxito empresarial CEGESTI*, 280. Recuperado de

https://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_280_090215_es.pdf

Gravel, A. & Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 102272. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>

Haber, M., et al. (2019). The influence of grasshopper (*Schistocerca gregaria*) powder enrichment on bread nutritional and sensorial properties. *LWT*, 115, 108395. [10.1016/j.lwt.2019.108395](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108395)

Hassan, N., et al. (2008). Nutritional Evaluation and Physiochemical Properties of Boiled and Fried Tree Locust. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(2). [10.3923/pjn.2008.325.329](https://doi.org/10.3923/pjn.2008.325.329)

Janssen, R., et al. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>

Juárez, M. & Sammán, N. (2007). El deterioro de los aceites durante la fritura. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 13(2), 82-94.

Julianti, E. et al. (2017). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean, and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.005>

Kouřimská, L. & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>

Krongdang, S., et al. (2023). Edible Insects in Thailand: An Overview of Status, Properties, Processing, and Utilization in the Food Industry. *Foods*, 12, 2162. <https://doi.org/10.3390/foods12112162>

Landero, I., et al. (2012). Uso de la larva de *Arsenura armida armida* (Cramer, 1779) (Lepidoptera: Saturniidae), “cuecla” en Ixcohuapa, Veracruz, México. *Cuadernos de Biodiversidad*, 38, 4-8.

Lee, H., et al. (2019). Effects of Heating Time and Temperature on Functional Properties of Proteins of Yellow Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Food Science of Animal Resources*, 39(2), 296-308. 10.5851/kosfa.2019.e24

Liang, Z., et al. (2024). Recent advances in edible insect processing technologies. *Food Research International*, 182, 114137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114137>

Markmanuel, D. & Godwin, J. (2020). Effects of Culinary Methods on The Proximate Composition of an Edible Insect (*Rhynchophorus Phoenicis*) Larvae Obtained From Bayelsa State, Nigeria. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(4), 1-7. <http://dx.doi.org/10.24018/ejfood.2020.2.4.67>

Melo, V., et al. (2016). Nutraceutical Effect of Cuetlas (*Arsenura armida* C.) Edible Insects as Local Food at Ixcaquixtla, Mexico. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *A6*, p. 423-428. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2016.06.008>

Mendoza, V. & Sandoval, D. (2023). *Arsenura armida*: Giant silk moth. FLAAR MESOAMÉRICA. Recuperado de <https://flaar-mesoamerica.org/wp-content/uploads/2023/08/PANAT-cuecla-Arsenura-armida-PDF-May-2022-CR.pdf>

Mermelstein, N. (2016). Sizing Up Particles. Food Safety & Quality. *Food Technology Magazine*. Recuperado de <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2016/august/columns/food-safety-quality-particle-size-analysis>

Mintah, B., et al. (2019). Edible insect protein for food applications: Extraction, composition, and functional properties. *Journal of Food Process Engineering* 2020, *43*, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13362>

Mitsuhashi, J., et al. (2010). The future use of insects as human food. En P. Durst, D. Johnson, R. Leslie, K. Shono (Eds.), *Forest insects as food: Humans bite back* (pp. 115-122).

Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2011). Colour difference ΔE -A survey. *Machine Graphics and Vision International Journal*, *20*(4), 383–411. <https://doi.org/10.5555/3166160.3166161>

Montes, N., et al. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista Chilena de Nutrición*, *43*(1), 87-91. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000100013>

Musundire, R., et al. (2016). Aflatoxin contamination detected in nutrient and anti-oxidant rich edible stink bug stored in recycled grain containers. *PLOS ONE*, *11*(1). 10.1371/journal.pone.0145914.

NDSU. (2020). WHEAT QUALITY & CARBOHYDRATE RESEARCH. Recuperado de <https://www.ndsu.edu/faculty/simsek/wheat/flour.html#:~:text=The%20ash%20content%20of%20wheat,when%20compared%20to%20the%20endosperm.>

Negreiros, A., et al. (2015). Microscale study of particle agglomeration in oil-based food suspensions: The effect of binding liquid. *Powder Technology*, 270(B), 528-536. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.024>

Opstvedt, J., et al. (2003). Effect on protein digestibility of different processing conditions in the production of fish meal and fish feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(8), 775-782. . <https://doi.org/10.3989/gya.1998.v49.i3-4.746>

Ortiz, D. & Cevallos, P. P. Proteínas producidas por insectos: una alternativa a la industria alimenticia tradicional. *Catálisis Revista Digital*, 5(9), 33-35.

Peña, M. & Ghosh, S. (2021). Effect of Water Content and Pectin on the Viscoelastic Improvement of Water-in-Canola Oil Emulsions. *Fluids*, 6(6), 228. <https://doi.org/10.3390/fluids6060228>

Picard, B., Gagaoua, M. & Hollung, K. (2017). Chapter 12 - Gene and Protein Expression as a Tool to Explain/Predict Meat (and Fish) Quality. En Peter, P. (Ed.). *Food Science, Technology and Nutrition, New Aspects of Meat Quality*, pp. 321-354. Woodhead Publishing Series.

Pico, J. et al. (2023). Insectos: Uso como materia prima en la industria alimentaria y no alimentaria. *Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, 9(1), 253-277. <https://doi.org/10.35381/cm.v9i1.1059>

Pulido, V., et al. (2020). Insectos: Recursos del pasado que podrían ser una solución nutricional para el futuro. *Revista de investigación y difusión científica agropecuaria*, 24(2), 81-100.

Purschke, B., et al. (2018). Recovery of soluble proteins from migratory locust (*Locusta migratoria*) and characterization of their compositional and techno-functional properties. *Food Research International*, 106, 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.067>

Rahman, A. & Malik, H. (2023). Comparative Study Between Deep-Fat Frying and Air Frying of Sweet Potato Perkedel. *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology*, 3(2), 344-354. <https://doi.org/10.30880/ekst.2023.03.02.040>

Reyes, A., Pérez, E. & Ibarra, C. (2021). Desarrollo de una granja de chapulines (*Sphenarium Purpurascens*) y cambios en su composición de acuerdo a dos dietas. *BioTecnología*, 25(4), 157. Recuperado de <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2022/03/Area-IV-Biotecnologia-Alimentaria.pdf>

Rodarte, Z. (2016). Insectos como fuente de alimento.[Insects as a food source]. *BIOZ Revista de Divulgación UACB*, 1(1).

Romero, E. (2023). *Análisis de los concentrados proteicos de la Hormiga Santandereana (Atta laevigata)*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Técnica de Ambato.

Rumpold, B. & Schluter, O. (2013). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>

Saïdou, C., et al. (2023) Impact of Cooking Time on the Physicochemical and Nutritional Properties of *Macrotermes subhyalinus* and *Imbrasia obscura*. *Food and Nutrition Sciences*, 14, 369-384. 10.4236/fns.2023.144024.

Sales, L. et al. (2023). Edible insect as an alternative protein source: a review on the chemistry and functionalities of proteins under different processing methods. *Heliyon*, 9(4). 10.1016/j.heliyon.2023.e14831

Sánchez, M., Barroso, F. & Manzano, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65(15), 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>

Santiago, L., Fadel O., & Tavares, G. (2021). How does the thermal-aggregation behavior of black cricket protein isolate affect its foaming and gelling properties? *Food Hydrocolloids*, 110, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106169>

Santurino, C. et al. (2016). Los insectos como complemento nutricional de la dieta: fuente de lípidos potencialmente bioactivos. *Alim. Nutr. Salud*, 23(2), 50-56.

Sekobane, et al. (2023). Fats and major fatty acids present in edible insects utilized as food and livestock feed. *Vet Anim Sci*, 100312. 10.1016/j.vas.2023.100312

Shchekoldina, T., & Aider, M. (2014). Production of low chlorogenic and caffeic acid containing sunflower meal protein isolate and its use in functional wheat bread making. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2331–2343. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0780-2>

Suhag, R., Kellil, A. & Razem, M. (2024). Factors Influencing Food Powder Flowability. *Powders*, 3, 65-76. <https://doi.org/10.3390/powders3010006>

Tae-Kyung, K. (2019). Edible Insects as a Protein Source: A Review of Public Perception, Processing Technology, and Research Trends. *Food Sci Anim Resource*, 39(4), 521-540. 10.5851/kosfa.2019.e53

USSPF. (2016). POWDER FLOW. *Harmonization*, 30(6), https://www.usp.org/sites/default/files/usp/document/harmonization/gen-chapter/g05_pf_30_6_2004.pdf

Vanqa, N., Vincent, V. & Basitere, M. (2022). Proximate, Physicochemical, Techno-Functional and Antioxidant Properties of Three Edible Insect (Gonimbrasia belina, Hermetia illucens and Macrotermes subhylanus) Flours. *Foods*, 11, 976. <https://doi.org/10.3390/foods11070976>

Villaseñor, V., et al. (2021). Edible Insects: Techno-functional Properties Food and Feed Applications and Biological Potential. *Food Reviews International*, 38(1), 866-892. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1890116>

Voyer, L. & Alvarado, C. (2019). REACCIÓN DE MAILLARD. EFECTOS PATOGÉNICOS. *Medicina*, 79(2), 137-143.

Wang, Y., Ngadi, M. & Adedeji, A. (2010). Shrinkage of Chicken Nuggets During Deep-Fat Frying. *International Journal of Food Properties*, 13(2). <https://doi.org/10.1080/10942910802626721>

Yi, L., et al. (2013). Extraction and characterization of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141(4), 3341–3348.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>

Yi, L., et al. (2016). Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. *European Food Research and Technology*, 242, 1285-1297.

Zellner, D., et al. (2018). The effect of wrapper color on candy flavor expectations and perceptions. *Food Quality and Preference*, 68, 98-104.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.011>

Zielińska, E. (2023). Evaluating the Functional Characteristics of Certain Insect Flours (Non-Defatted/Defatted Flour) and Their Protein Preparations. *Molecules*, 27(19), 6339.

<https://doi.org/10.3390/molecules27196339>

Zielińska, E. et al. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77(3), 460-466.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>

Anexos

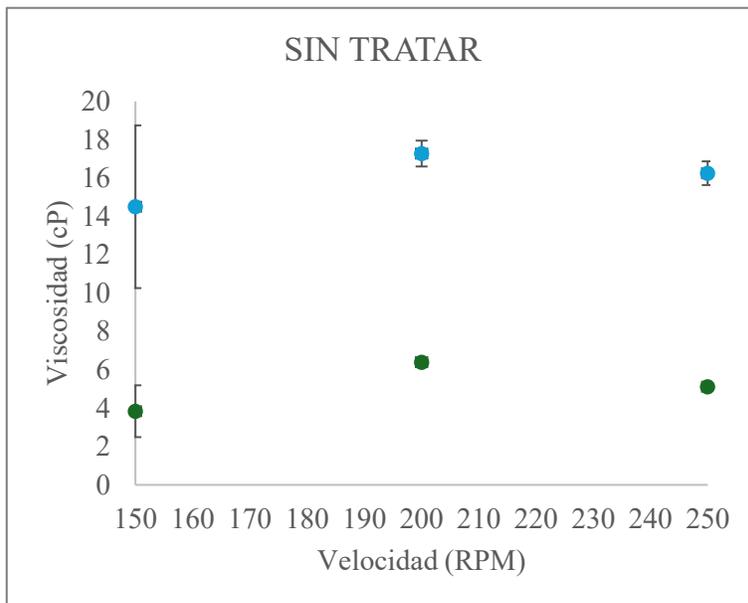


Figura 1. Reograma (velocidad vs. viscosidad) de la harina de *A. armida* sin tratamiento (15% (p/v): color azul y 20% (p/v): color verde).

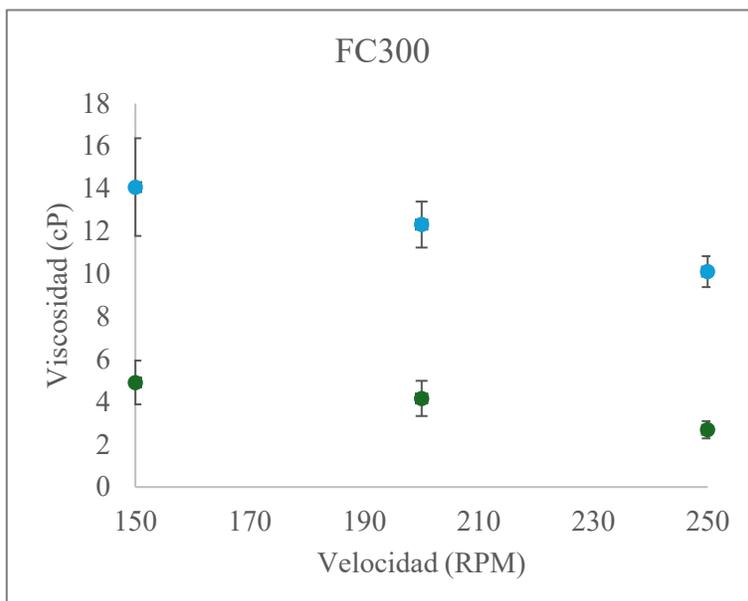


Figura 2. Reograma (velocidad vs. viscosidad) de la harina de *A. armida* freída convencionalmente a 300 °F (15% (p/v): color azul y 20% (p/v): color verde).

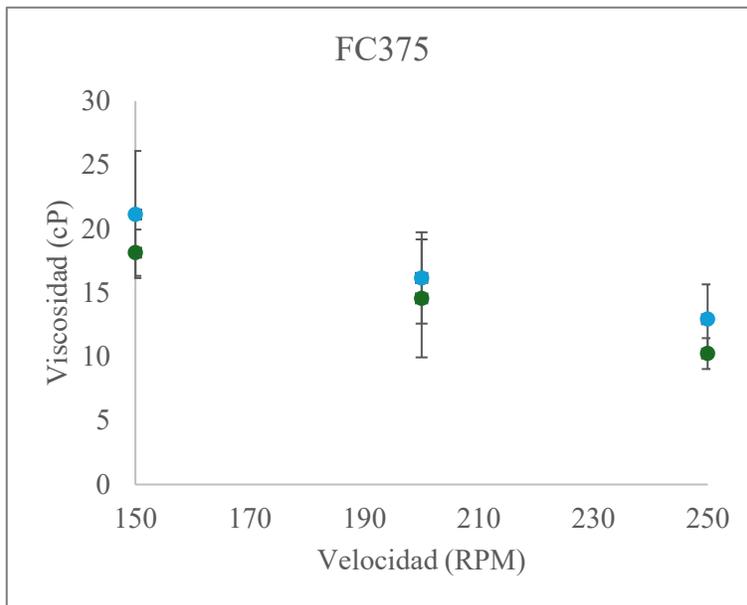


Figura 3. Reograma (velocidad vs. viscosidad) de la harina de *A. armida* freída convencionalmente a 375 °F (15% (p/v): color azul y 20% (p/v): color verde).

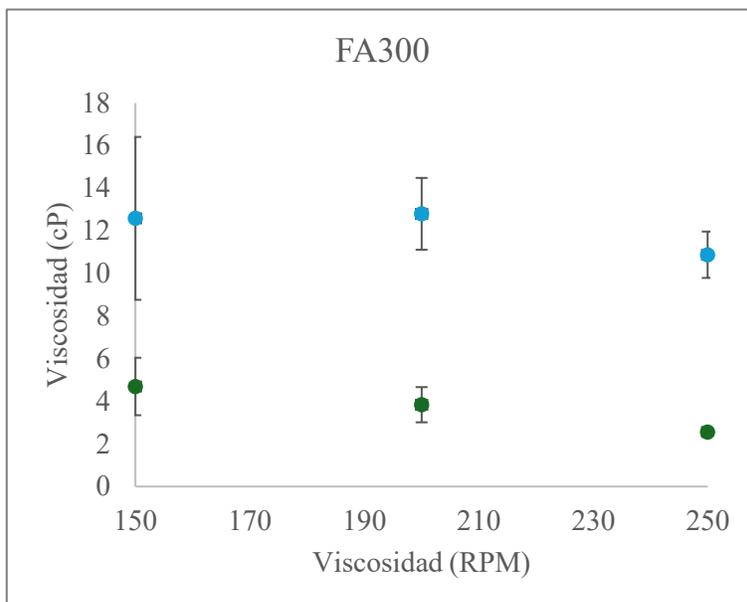


Figura 4. Reograma (velocidad vs. viscosidad) de la harina de *A. armida* freída con aire a 300 °F (15% (p/v): color azul y 20% (p/v): color verde).

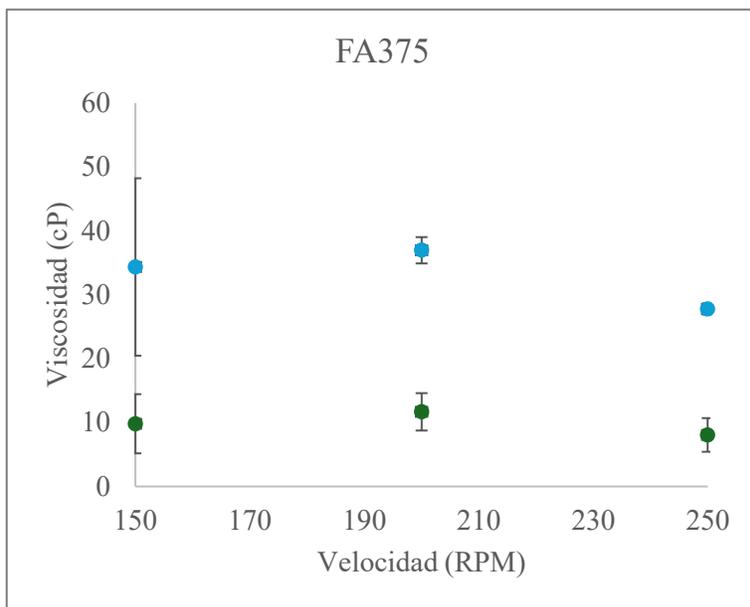


Figura 5. Reograma (velocidad vs. viscosidad) de la harina de *A. armida* freída con aire a 375 °F (15% (p/v): color azul y 20% (p/v): color verde).