



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

“Evaluación química, sensorial, capacidad antioxidante y de bioaccesibilidad *in vitro* de una pasta en forma de tallarín con polvo de grillo (*Acheta domesticus*)”

Tesis que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS Y DE LA SALUD

Presenta:

L.N. MARÍA FERNANDA ESCAMILLA ROSALES

Director(a) de Tesis

DR. JOSÉ ALBERTO ARIZA ORTEGA

Co-Director(a) de Tesis

DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO

San Agustín Tlaxiaca Hgo. a Agosto del 2022



María Fernanda Escamilla Rosales
 Alumna de la Maestría en Ciencias Biomédicas y de la Salud

Por este conducto le comunico el jurado que le fue asignado a su Tesis titulada "Evaluación química, sensorial, capacidad antioxidante y de bioaccesibilidad *in vitro* de una pasta en forma de tallarín con polvo de grillo (*Acheta domestica*)" con el cual obtendrá el **Grado de Maestra en Ciencias Biomédicas y de la Salud**; después de revisar la tesis mencionada y haber realizado las correcciones acordadas, han decidido autorizar la impresión de la misma.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

- PRESIDENTE Dra. Nelly del Socorro Cruz Cansino
- PRIMER VOCAL Dr. José Alberto Ariza Ortega
- SECRETARIO Dra. Quinatzin Yadira Zafra Rojas
- SUPLENTE Dra. María Elena Ramos Cassellis
- SUPLENTE Dr. Ernesto Alanís García



Sin otro asunto en particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
 "AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

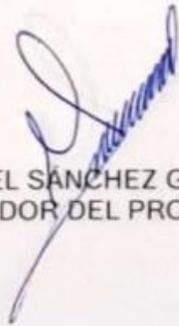
M.C. ESP. ADRIAN MOYA ESCALERA
 DIRECTOR



DIRECCIÓN

DRA. LYDIA LÓPEZ PONTIGO
 COORDINADORA DE POSGRADO ICSA

DR. MANUEL SÁNCHEZ GUTIÉRREZ
 COORDINADOR DEL PROGRAMA



Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de manutención que me otorgaron en el periodo de agosto del 2020 a julio del 2022, con número de beca 771959 y CVU: 906905, que me permitió estudiar la maestría en Ciencias Biomédicas y de la salud, e hizo posible la realización de esta tesis.

Gracias a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por permitirme realizar trabajo experimental en el Instituto de Ciencias de la Salud, en los laboratorios de Alimentos Funcionales y Nutracéuticos y laboratorio de Tecnofuncionalidad de Alimentos y a la Escuela Superior de Apan, Laboratorio de Microscopía Electrónica por la evaluación de muestras en el microscopio electrónico de barrido.

Agradecimientos

“La ciencia y la vida cotidiana no pueden ni deben estar separadas”

Rosalind Franklin

La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo de mis familiares y amigos, gracias a todos por acompañarme, detrás de este proyecto hay sacrificios, pero también grandes recompensas, agradezco poder compartir con todos ustedes este logro.

Quiero agradecer especialmente a mi Mamá y a mi hermano, quienes siempre me han brindado su amor, apoyo, y me motivan a mejorar, gracias por enseñarme que a pesar de las adversidades siempre hay una razón para seguir adelante. A Marco, quien fue como un padre para mí y que a pesar de que ya no se encuentra con nosotros, agradezco que me enseñara a siempre trabajar para cumplir lo que me propongo; nos faltó vida para celebrar tantas cosas, sé que donde te encuentres estarías orgulloso. A Gustavo, quien desde hace unos años forma parte de mi familia, y quien me acompañó desde que la realización de la tesis de maestría era solo una idea y un sueño, gracias por acompañarme en esta aventura, siempre escuchar mis ideas y creer en mí. Ustedes que son mi familia, gracias por todo lo que me han dado, esta tesis se las dedico a ustedes.

También quiero agradecer a mis tías Irma y Gloria, a mis primos Osvaldo, Diana, Ana y Bere que me ofrecieron su apoyo y creyeron en mí, gracias por animarme a continuar y por ayudarme, incluso aunque eso significara probar insectos. A MaryPaz que ya son tantos los años de amistad que eres como familia, gracias por motivarme, escucharme y siempre creer en mí; y sobre todo quiero agradecerles su amor y amistad.

Quiero extender este agradecimiento a los doctores que formaron parte de mi comité, al doctor Alberto, gracias por creer en mí y animarme a continuar con este proyecto que inicio en la licenciatura, sin su apoyo esto no hubiera sido posible, también a la doctora Nelly, gracias por su apoyo y sus consejos, por el tiempo que dedico para que este proyecto se realizará, y también por hacer del laboratorio no solo nuestro lugar de trabajo, sino un lugar en donde todos podemos apoyarnos mutuamente, a la doctora Quina, gracias por sus

comentarios, siempre me motivaron a mejorar, al doctor Alanís y a la Doctora María Elena gracias por compartir sus conocimientos y brindarme de su tiempo para este proyecto, que no hubiera sido lo mismo sin el apoyo de todos ustedes.

Y no puedo dejar de agradecer a mis amigos y compañeros, Mariel gracias por estos años en los que me has brindado tu ayuda y paciencia en el laboratorio, gracias por siempre estar dispuesta a compartir tus conocimientos, por siempre hacerme ver el lado positivo de la situación y por hacer más divertidas todas las horas que trabajamos. Araceli, estoy feliz de haberte conocido, gracias por animarme y mantener la alegría en el laboratorio y en las clases, y por ofrecerme tu ayuda. Lis, gracias por el apoyo y las pláticas en el laboratorio, las tres hicieron que todos los días fueran interesantes y divertidos. Y a las maestras Gloria, Eli y Zacnité con quienes coincidí en el laboratorio, gracias por su compañía.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
ABREVIATURAS	VI
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Generalidades	3
2.1.1 Entomofagia en el mundo, en México y en el estado de Hidalgo	3
2.1.2 Características nutricionales de los insectos comestibles	3
2.1.2.1 Características nutrimentales de insectos del orden <i>Orthoptera</i>	4
2.1.3 Grillo (<i>Acheta domesticus</i>)	5
2.1.4 Pastas	7
2.2 Antecedentes del problema	9
2.2.1 Efecto en la salud del consumo de insectos comestibles del orden <i>Orthoptera</i>	9
2.2.2 Calidad y digestibilidad de proteínas de grillo	10
2.2.3 Uso de insectos comestibles del orden <i>Orthoptera</i> en la elaboración de productos comerciales	11
2.3 Planteamiento del problema	12
III. JUSTIFICACIÓN	14
IV. HIPÓTESIS	15
V. OBJETIVOS	16
5.1 Objetivo general	16
5.2 Objetivos específicos	16
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	17
6.1 Tipo y diseño de estudio	17
6.2 Selección de la muestra, criterios de inclusión y exclusión	17
6.2.1 Criterios de inclusión	17
6.2.2 Criterios de exclusión	17
6.2.3 Criterios de eliminación	17
6.3 Tamaño de muestra y muestreo	17
6.4 Definición de las variables	18
6.5 Diagrama de diseño experimental	22
6.6 Metodologías	23
6.6.1 Elaboración de las formulaciones de pasta tipo tallarín	23
6.6.2 Análisis químico proximal	24
6.6.2.1 Humedad	24

6.6.2.2	Proteína	24
6.6.2.3	Lípidos	25
6.6.2.4	Cenizas	25
6.6.2.5	Fibra dietética total	26
6.6.3	Pruebas de calidad de cocción	27
6.6.3.1	Tiempo óptimo de cocción	27
6.6.3.2	Porcentaje de hinchamiento	27
6.6.3.3	Pérdida de sólidos por cocción	28
6.6.4	Propiedades funcionales	28
6.6.4.1	Capacidad de absorción de agua y lípidos	28
6.6.4.2	Capacidad de absorción de glucosa	29
6.6.5	Análisis de instrumental de las pastas	29
6.6.5.1	Microscopía electrónica de barrido	29
6.6.5.2	Índice de refracción	30
6.6.5.3	Color	30
6.6.6	Evaluación sensorial	31
6.6.7	Bioaccesibilidad de actividad antioxidante	31
6.6.7.1	Ensayo ABTS ^{•+}	32
6.6.7.2	Ensayo DPPH [•]	32
6.6.7.3	Ensayo FRAP	33
6.6.7.4	Bioaccesibilidad intestinal <i>in vitro</i>	33
6.7	Análisis estadístico	34
VII.	RESULTADOS	35
7.1	Análisis químico proximal	35
7.2	Pruebas de calidad de cocción	36
7.3	Propiedades funcionales	37
7.4	Análisis de instrumental de las pastas	38
7.4.1	Microscopía electrónica de barrido	38
7.4.2	Índice de refracción	40
7.4.3	Análisis de color	41
7.5	Evaluación sensorial	42
7.6	Bioaccesibilidad de la actividad antioxidante	43
VIII.	DISCUSIÓN	45
8.1	Composición nutricional y calidad de las formulaciones de tallarines de grillo.	45
8.1.1	Análisis químico proximal	45
8.1.2	Pruebas de calidad de cocción y propiedades funcionales	49
8.1.3	Microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de energía dispersa	51
8.1.4	Índice de refracción	52
8.1.5	Colorimetría	53
8.1.6	Evaluación sensorial	54

8.2 Bioaccesibilidad de la actividad antioxidante de los de tallarines de grillo después de la cocción	55
8.2.1 Actividad antioxidante (ABTS ^{•+} , DPPH [•] , FRAP) de tallarines de grillo	55
8.2.2 Actividad antioxidante (ABTS ^{•+} , DPPH [•] , FRAP) de fracción bioaccesible de tallarines de grillo	56
IX. CONCLUSIONES	58
X. RECOMENDACIONES	59
XI. REFERENCIAS	60
XII. ANEXOS	73

Índice de Figuras

Figura 1. Especies de insectos pertenecientes al orden <i>Orthoptera</i>	4
Figura 2. Desarrollo del grillo doméstico.	6
Figura 3. Proceso de elaboración de pasta.....	7
Figura 4. Micrografía de almidón nativo de trigo	8
Figura 5. Diagrama experimental	22
Figura 6. Diagrama de elaboración de pasta en forma de tallarines.....	23
Figura 7. Micrografías de pastas de polvo de grillo.	38
Figura 8. Evaluación sensorial de formulaciones de tallarines con polvo de grillo.	42

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición nutricional de insectos comestibles de Hidalgo (%).	4
Tabla 2. Contenido nutrimental del grillo doméstico	6
Tabla 3. Criterios para la clasificación de pasta.	8
Tabla 4. Productos disponibles en el mercado con la incorporación de grillos o chapulines en su formulación	12
Tabla 5. Operacionalización de las variables de estudio	18
Tabla 6. Porcentaje de ingredientes en las formulaciones de pasta.....	23
Tabla 7. Análisis químico proximal (%) de tres formulaciones de tallarines con polvo de grillo (Base húmeda).	35
Tabla 8. Pruebas de calidad de cocción de las tres formulaciones de tallarines con polvo de grillo.	36
Tabla 9. Propiedades funcionales de la fibra dietética de tallarines de polvo de grillo.....	37
Tabla 10. Concentración semicuantitativa de minerales por espectroscopia de energía dispersa de tallarines de polvo de grillo (% peso atómico)	39
Tabla 11. Índice de refracción de pastas de polvo de grillo.	40
Tabla 12. Análisis de las características colorimétricas de pastas de polvo de grillo	41
Tabla 13. Bioaccesibilidad de la actividad antioxidante de formulaciones de tallarines con polvo de grillo.....	44

Abreviaturas

ABTS: 2,2 azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico de sal de amonio)

ANOVA: Análisis de varianza

DPPH: 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo

DS: Desviación estándar

ET: Equivalentes de trolox

F1: Formulación con 7% de polvo de grillo

F2: Formulación con 11% de polvo de grillo

F3: Formulación con 16% de polvo de grillo

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FRAP: Poder antioxidante reductor de hierro (por sus siglas en inglés)

T1: Pasta en forma de tallarín cruda-seca

T2: Pasta en forma de tallarín hervida

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

Resumen

Los grillos domésticos (*Acheta domesticus*) son una fuente de proteína con un alto valor biológico (70%), ya que aportan todos los aminoácidos esenciales. Sin embargo, por su apariencia se buscan alternativas para su consumo, una de ellas es integrarlos en un alimento, como la pasta que se caracteriza por ser un alimento de alto consumo, fácil elaboración y preparación, pero con contenido bajo de proteína (11.41%). Por lo anterior, la adición de polvo de grillo sería una buena opción para incrementar su contenido proteínico y mejorar sus características nutrimentales. Este estudio tuvo como objetivo evaluar características químicas, sensoriales, y de actividad antioxidante y bioaccesibilidad *in vitro* de una pasta en forma de tallarín con polvo de grillo *Acheta domesticus*. Se elaboraron tres formulaciones con diferentes concentraciones de polvo de grillo, harina de trigo y huevo fresco (F1: 7%, 48% y 45%; F2: 11%, 47% y 42% y F3: 16%, 44% y 40%, respectivamente). A continuación, se elaboró la pasta en forma de tallarines (pasta fresca), que fueron deshidratadas a 40°C hasta alcanzar 9% de humedad (pastas crudas-secas). Se determinó la calidad de cocción de las pastas, sumergiéndolas en agua en ebullición a 94°C (pasta hervida), y se determinó el tiempo óptimo de cocción (12.25 hasta 15.12 minutos), pérdida de sólidos y porcentaje de hinchamiento. Para determinar el efecto de la cocción en la composición nutrimental se realizó la determinación de humedad, proteína, lípidos, ceniza, carbohidratos y fibra dietética total. Mientras que, para conocer algunas de sus propiedades, se evaluó la capacidad de absorción de agua, lípidos y de adsorción de glucosa, se identificaron cambios estructurales y la presencia de minerales con la microscopía electrónica de barrido, ácidos grasos que podrían estar presentes con el índice de refracción y la aceptación de los tallarines con colorimetría y evaluación sensorial. Con los métodos ABTS^{•+}, DPPH[•] y FRAP se midió la actividad antioxidante antes y después de una prueba de bioaccesibilidad *in vitro*. La prueba estadística utilizada para comparar los resultados entre pasta cruda-seca y hervida fue t-Student ($p < 0.05$) y para comparaciones entre formulaciones se aplicó ANOVA de una vía ($p < 0.05$). En el análisis químico proximal, la formulación F3 de las pastas crudas-secas fue la de mayor contenido de proteína (27.53%) y ceniza (1.95%). Después de la cocción, las muestras presentaron disminución de sus porcentajes. La incorporación de polvo de grillo provocó mayor tiempo de cocción y menor índice de hinchamiento. La pérdida de sólidos fue de 2.66-8.68%. Con la microscopía electrónica de barrido, se identificaron cambios

estructurales y la presencia de fósforo, potasio y en menor cantidad magnesio y hierro. Por el índice de refracción de los tallarines (1.449-1.467), podrían tener ácidos grasos (láurico, mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, α -linolénico y araquidónico). En referencia a las características sensoriales, en la determinación instrumental de color, la pasta se encontró en un rango de color verde-amarillo (coordenadas a^* de -0.28 a -1.49 y b^* de 7.22 a 11.30) y en la evaluación sensorial, la pasta F1 (40%) fue la de mayor aceptación, seguida de la F3 (33%). Por último, en las pastas se registró actividad antioxidante después de la cocción y de la bioaccesibilidad *in vitro*, que fue mayor en la formulación F3. En conclusión, la formulación F3 de pasta en forma de tallarines con polvo de grillo, mantuvo características de rendimiento y mejor contenido nutrimental y de actividad antioxidante, incluso después de la cocción.

Palabras clave: Tallarines, polvo de grillo, *Acheta domesticus*, bioaccesibilidad *in vitro*.

Abstract

Domestic crickets (*Acheta domesticus*) are a source of protein with a high biological value (70%) since provide all the essential amino acids. However, due to their appearance, alternatives are sought for their consumption, one of them is to integrate them into food, such as noodles, which are characterized by being a high-consumption food, easy to process and prepare, however present low protein content (11.41%). Therefore, the addition of cricket powder would be a good option to increase the protein content in pasta and improve its nutritional characteristics. The objective of this study was to evaluate chemical, sensory, and antioxidant activity characteristics and *in vitro* bioaccessibility of pasta in the form of noodles added with *Acheta domesticus* cricket powder. Three formulations were made with different concentrations of cricket powder, wheat flour and fresh egg (F1: 7%, 48%, 45%; F2: 11%, 47%, 42% and F3: 16%, 44%, 40%. %, respectively). Next, the pasta was made in the form of tagliatelle (fresh pasta), which was dehydrated at 40°C until reaching 9% moisture (raw-dry pasta). The cooking quality of the pasta was determined by immersing it in boiling water at 94°C (boiled pasta), and the optimum cooking time (12.25 to 15.12 minutes), loss of solids and percentage of swelling. To identify the effect of cooking on the nutritional composition, moisture, protein, lipids, ash, carbohydrates, and total dietary fiber were calculated. Also, the absorption capacity of water, lipids and glucose adsorption was evaluated, besides structural changes and the presence of minerals were identified with scanning electron microscopy, fatty acids that could be present with the refractive index and acceptance of noodles with colorimetry and sensory evaluation. Using the ABTS^{•+}, DPPH[•] and FRAP methods, antioxidant activity was measured before and after an *in vitro* bioaccessibility test. The statistical test used to compare the results between raw-dry and boiled pasta was t-Student (p<0.05) and one-way ANOVA (p<0.05) was applied for comparisons between formulations. In the proximal chemical analysis, the F3 formulation of the raw-dry pasta was the one with the highest content of protein (27.53%) and ash (1.95%). After cooking, the samples showed a decrease in their percentages. The incorporation of cricket powder caused a longer cooking time and a lower swelling index. The loss of solids was 2.66-8.68%. With scanning electron microscopy, structural changes and the presence of phosphorus, potassium and, to a lesser extent, magnesium and iron were identified. Due to the refractive index of the noodles (1.449-1.467), they could have fatty acids (lauric, myristic,

palmitic, stearic, oleic, linoleic, α -linolenic and arachidonic). Regarding the sensory characteristics, in the instrumental color determination, the paste was found in a green-yellow color range (coordinates a^* from -0.28 to -1.49 and b^* from 7.22 to 11.30) and in the sensory evaluation, the F1 paste (40%) was the most accepted, followed by F3 (33%). Finally, in the pastes, antioxidant activity was recorded after cooking and *in vitro* bioaccessibility, which was higher in the F3 formulation. In conclusion, the F3 formulation of pasta in the form of noodles with cricket powder maintained performance characteristics and better nutritional content and antioxidant activity, even after cooking.

Keywords: Noodles, cricket powder, *Acheta domesticus*, *in vitro* bioaccessibility.

I. Introducción

Las enfermedades relacionadas con la alimentación se presentan tanto en niños como en adultos, y la principal causa es el elevado consumo de alimentos ultra procesados (embutidos, galletas, papas fritas, comida instantánea) y procesados (frutas y verduras enlatadas, jamón, queso, pastas de trigo), alimentos que se caracterizan por su alto contenido calórico, bajo valor nutrimental, costo accesible, fácil preparación y rápido consumo. Motivo por el que surge la necesidad de mejorar el contenido nutrimental de los alimentos de alto consumo, mediante la adición de nutrientes que aporten beneficios a la salud, como la pasta de trigo, que es un producto de consumo frecuente y que es consumida por el 99.6% de las familias mexicanas, siendo las pastas largas (espagueti y tallarines) las de mayor preferencia con un 30.6% (1–3). Por lo anterior, en la pasta se requiere aumentar su contenido nutrimental con la incorporación de proteína del alto valor biológico, ácidos grasos, minerales, fibra dietética y antioxidantes, como los que aporta el grillo.

En la primera sección de este trabajo se muestra información referente a la composición química de los insectos, en específico del grillo doméstico (*Acheta domesticus*), y el beneficio que se obtiene de su consumo, información de la pasta, que por sus características se puede agregar ingredientes extra para aumentar su contenido nutrimental.

En la segunda sección del presente escrito, se detallan las metodologías empleadas para analizar pastas a las que se les integró polvo de grillo en su formulación y posterior comparación después de la cocción en agua (pasta cruda-seca y pasta hervida), para obtener información de las características del producto como habitualmente se consume. Para conocer la información nutrimental se realizó análisis químico proximal, actividad antioxidante, bioaccesibilidad *in vitro* de actividad antioxidante, propiedades funcionales e índice de refracción. Adicionalmente, se determinó calidad de cocción, cambios estructurales con microscopía electrónica de barrido y propiedades sensoriales con evaluación sensorial.

En la siguiente sección, se presentan los resultados con un análisis estadístico para identificar diferencias entre las formulaciones utilizado un ANOVA y entre la pasta cruda-seca y hervida con una T de student. Se realizaron comparaciones entre los resultados obtenidos de los tallarines realizados en este estudio con productos similares, con la finalidad de establecer si

las pastas elaboradas tienen características nutrimentales que otorguen beneficios a la salud y que sus características sensoriales sean agradables para los consumidores. Por último, se encuentran las secciones de discusión y conclusiones, así mismo en anexos se puede consultar, el dictamen con la aprobación del comité de ética e investigación del Instituto de Ciencias de la Salud, el artículo de revisión publicado e información de apoyo.

II. Antecedentes

2.1 Generalidades

2.1.1 Entomofagia en el mundo, en México y en el estado de Hidalgo

El término entomofagia hace referencia al consumo humano de insectos y productos provenientes de ellos, como la miel, cera o jalea real, la aceptación de su consumo mejora cuando se conocen sus beneficios como alimento (aporte de aminoácidos esenciales, ácidos grasos, minerales y fibra dietética), sus propiedades medicinales (miel y propóleo), beneficios ambientales (menos producción de gases efecto invernadero en comparación con el ganado) (4,5), por estas características ha incrementado su consumo y se proyecta un aumento en la comercialización de insectos comestibles de 28.9% cada año hasta alcanzar una producción de más de un millón de toneladas para el 2027 (6).

En el mundo se han identificado aproximadamente 2100 especies de insectos comestibles, que provienen de más de 113 países de África, Asia y América Latina (7,8). Las especies con mayor frecuencia de consumo son los escarabajos (31%), orugas (18%), después siguen el grupo de las abejas, avispas y hormigas (14%), con similar consumo al grupo de los saltamontes, grillos y chapulines (13%) (8,9). En México se encuentran alrededor de 546 especies diferentes de insectos aptos para consumo y 99 especies distribuidas en el estado de Hidalgo (10,11).

2.1.2 Características nutricionales de los insectos comestibles

El valor nutritivo de un alimento hace referencia al conjunto de nutrientes (aminoácidos, ácidos grasos, carbohidratos, fibra dietética, minerales, vitaminas, entre otros (12), y en los insectos comestibles es muy diverso, principalmente debido al gran número y variedad de especies, estos valores pueden variar considerablemente dentro de un grupo de insectos debido a su origen, su alimentación, la preparación o procesamiento antes del consumo o su etapa de metamorfosis, por ejemplo, los insectos en estado de larva o pupa presentan mayor contenido energético y de lípidos en comparación con los insectos en estado adulto (8). La fracción lipídica de los insectos se compone mayoritariamente por ácidos grasos monoinsaturados (palmitoleico, oleico), poliinsaturados (linoleico y alfa-linolénico) y

saturados (palmítico, esteárico) (13). En la tabla 1 se muestra la composición nutricional de 5 órdenes de insectos consumidos en Hidalgo.

Tabla 1. Composición nutricional de insectos comestibles de Hidalgo (%).

Orden	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Fibra	ELN
<i>Orthoptera</i> ¹	57- 70	6 – 17	3 – 5	9 – 11	4 – 16
<i>Hemiptera</i> ²	37 - 70	6 – 46	1 – 12	2 – 16	1 – 21
<i>Coleoptera</i> ³	20 – 70	4 – 56	1 – 23	2 – 15	5 – 26
<i>Lepidoptera</i> ⁴	30 – 57	6 – 62	1 – 7	2 – 29	1 – 25
<i>Hymenoptera</i> ⁵	9 – 7	5 – 61	1 – 9	1 – 10	3 – 77

¹Grillos, saltamontes, chapulines. ²Chinches, cigarras. ³Escarabajos. ⁴Mariposas, polillas. ⁵Hormigas, abejas, avispas. ENL: Extracto libre de nitrógeno. (14)

Como se observa en la tabla anterior los insectos se componen principalmente de proteínas, los del orden *Orthoptera* son los que mayor porcentaje tienen. Los insectos comestibles proporcionan principalmente treonina (35.8 mg/g de proteína), valina (50.3 mg/g de proteína), histidina (21.2 mg/g de proteína), tirosina (61.5 mg/g de proteína), estos valores pueden variar dependiendo de la etapa de desarrollo de las muestras analizadas (15,16).

2.1.2.1 Características nutrimentales de insectos del orden *Orthoptera*

Entre los insectos ortópteros, es más común su consumo en estado adulto, pero también se pueden consumir en estado de ninfa. Existe una variedad de especies de grillos, pero las más comunes se pueden observar en la figura 1, estas especies no son las únicas que se consumen, existen especies que aún se desconocen, sin embargo, el grillo *Acheta domesticus* es el más consumido alrededor del mundo (17).

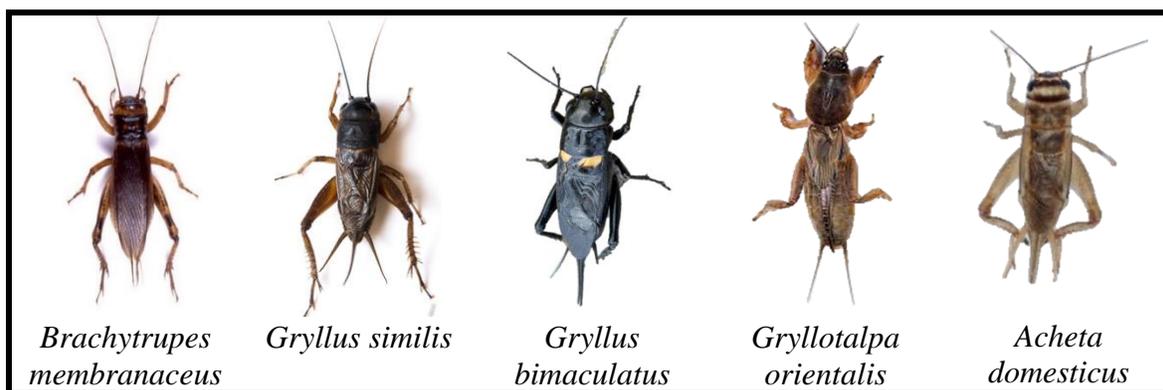


Figura 1. Especies de insectos pertenecientes al orden *Orthoptera*. (18–20)

Los análisis realizados a diferentes especies de insectos del orden *Orthoptera* de México, reportan un contenido de proteínas en un rango de 43.9 a 71.1% (Tabla 2), la variación en el contenido de proteínas puede estar influenciado por la especie, alimentación, hábitat o etapa de desarrollo del insecto (17). El valor de proteínas en las especies del estado de Hidalgo es similar con un 57.6 a 71.3%, este contenido en el grillo es superior a lo reportado para alimentos convencionales como frijoles (23.5%), lentejas (26.7%), pollo (43.3%) y huevo (46%). Además de su aporte de proteína los insectos cubren los requerimientos de la mayoría de los aminoácidos esenciales propuestos por la OMS para la población adulta (15). En estos insectos no predominan los lípidos, sin embargo, como se observa en la tabla 2, cubren las necesidades nutricionales de ácidos grasos, como el ácido mirístico (2.04%), palmítico (28.54%), esteárico (8.38%), palmitoleico (2.99%), oleico (31.52%), linoleico (11.69%) y linolénico (8.97%) (16).

El contenido nutrimental presenta variaciones en las diferentes especies de insectos de la orden *Orthoptera*. Esta diferencia en los valores no solo se debe a que entre especies de un mismo orden existen diferencias, también se relaciona con las etapas de desarrollo en las que se consumen, la alimentación del insecto, su origen (país de procedencia, si es criado o salvaje), e incluso por la metodología empleada en la medición de los parámetros (16).

2.1.3 Grillo (*Acheta domesticus*)

Los grillos son insectos comestibles pertenecientes a la orden *Orthoptera*, el grillo doméstico es de la familia *Gryllidae*, del género *Acheta* y de la especie *domesticus*. El ciclo de vida de este insecto es de 30 a 50 días, tiempo en el cual completa su desarrollo o metamorfosis, es un insecto hemimetábolo, lo que quiere decir que solo pasan por los estadios de huevo, ninfa y adulto, a diferencia de otros insectos que también pasan por la etapa de larva o pupa (21). En la figura 2 se pueden observar las etapas de desarrollo por la que pasan los grillos hasta llegar a la etapa adulta, es en esta última etapa cuando los grillos están aptos para consumirse

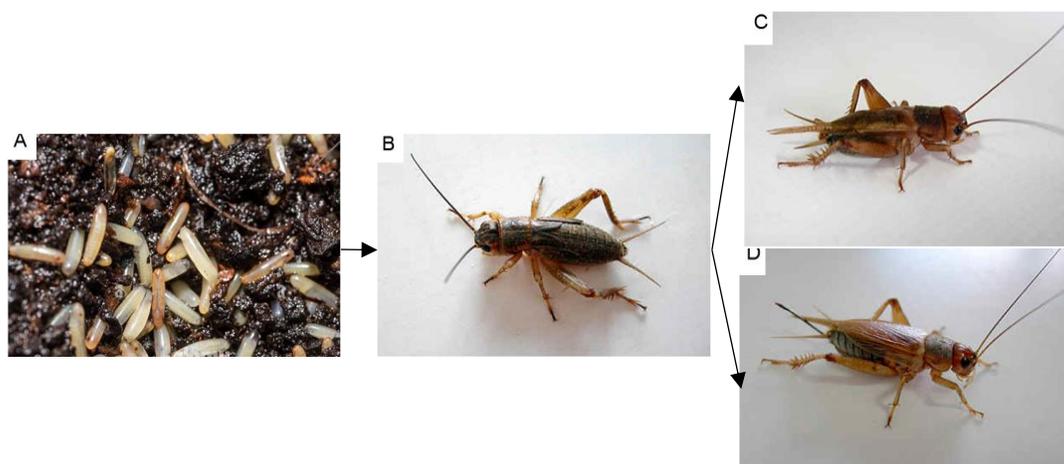


Figura 2. Desarrollo del grillo doméstico. A) Huevecillos, B) Ninfa, C) Macho del grillo adulto, D) Hembra del grillo adulto. (21,22)

Por el contenido de proteína (alrededor de un 70%) el grillo es uno de los insectos más comercializados, además tienen la facilidad para reproducirse rápidamente, una hembra tiene la capacidad de poner más de 1500 huevos, sin embargo, para poder conseguir una producción mayor se ha sugerido que los insectos podrían ser modificados genéticamente para mejorar sus características de producción y comercio, como volverlos más resistentes contra enfermedades, aumentar la tasa de crecimiento y productividad general, así como aumentar su contenido de proteína, o de otros nutrientes (16). En la tabla 2, se observa el contenido nutrimental del grillo doméstico en comparación con la ingesta diaria recomendada de nutrientes en la población adulta mexicana.

Tabla 2. Contenido nutrimental del grillo doméstico

Contenido	Grillo doméstico g/100 g	IDR* g/día
Proteínas	55 - 70.75 (17)	75 (24)
Aminoácidos esenciales	40.3 (15)	13.2 (15)
Lípidos	9.80 - 22.80 (17)	65 (25)
Carbohidratos	2.60 - 3.93 (17)	300 (25)
Fibra	14.92 - 22.02 (17)	30 (25)
Energía (kcal)	414.41 - 455.19 (17)	2000 (25)

*Recomendaciones de ingesta diaria recomendada para población adulta mexicana.

A pesar del contenido de nutrimentos que aportan los grillos, los consumidores muestran renuencia a integrarlos en su dieta por el aspecto del insecto, por lo que su procesamiento e incorporación en diversos alimentos ofrece una alternativa para su consumo, una opción es la incorporación de grillos en las pastas de trigo.

2.1.4 Pastas

La pasta es un alimento elaborado a partir de la mezcla de harina o sémola de trigo, agua potable y opcionalmente huevo u otros ingredientes (harinas de leguminosas o verduras) (26), el proceso para su elaboración se puede ver en la figura 3. Se observa que la masa se puede adaptar a diversas formas y tamaños mediante la aplicación de dos métodos tecnológicos diferentes, una vez que se obtiene la forma deseada, se puede secar y envasar para su almacenamiento, al ser un alimento con pocos ingredientes su preparación es sencilla y su almacenamiento puede ser de hasta tres años cuando esta es desecada sin necesidad de utilizar aditivos o conservadores (27,28).

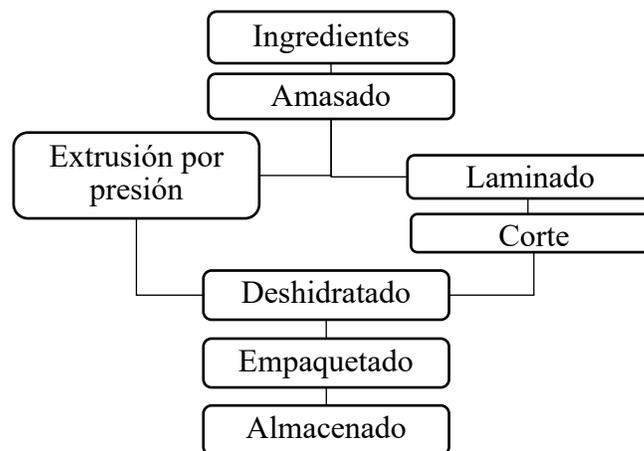


Figura 3. Proceso de elaboración de pasta.

El ingrediente más utilizado en la elaboración de pasta es el trigo, y esto se debe a las propiedades de sus proteínas (10 – 12%) y almidón (70 – 75%). En la pasta seca el almidón se encuentra en gránulos nativos enteros y las proteínas se encuentran entre esos gránulos formando el gluten, sin embargo, durante la cocción las proteínas formarán una estructura en forma de red que atraparán a los gránulos de almidón los cuales se hinchan, dispersan y solubilizan, este proceso origina una pasta de consistencia firme (27,29), como se muestra en la figura 4.

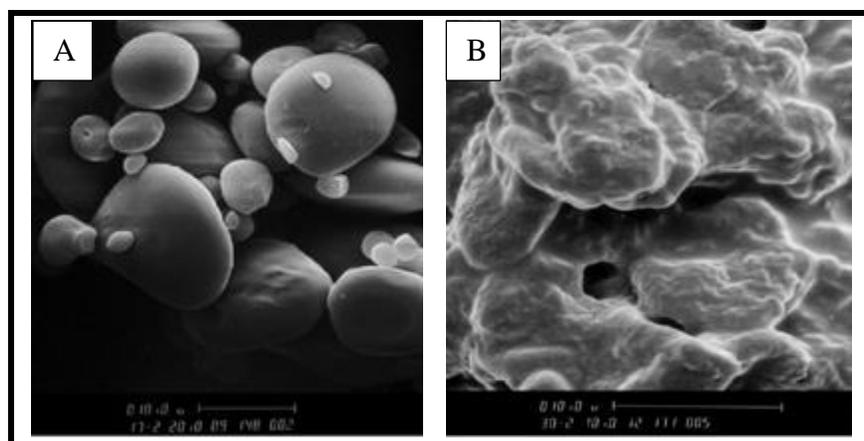


Figura 4. Micrografía de almidón nativo de trigo. A: almidón normal, B: almidón cocido. (30)

La tabla 3 muestra los diferentes criterios por los que la pasta puede clasificarse. Una pasta simple, o de acuerdo con la norma mexicana una pasta tipo 1, se considera por sus propiedades nutricionales un alimento no balanceado, al tener mayoritariamente carbohidratos (76.65%), por lo que la incorporación de otros ingredientes mejora su contenido nutrimental (29,31).

Tabla 3. Criterios para la clasificación de pasta.

Criterios	Clasificación	Referencia
Ingredientes	Simple (Elaboradas únicamente con sémola de trigo duro)	(32)
	Compuestas (Adición de ingredientes diferentes al trigo)	
	Tipo 1- Pasta amarilla o blanca de harina y/o semolina	(26)
	Tipo 2- Pasta de harina y/o semolina con huevo	
Humedad final (Hf)	Tipo 3 - Pasta de harina de trigo y/o semolina con vegetales	
	Pasta fresca ($Hf \geq 24\%$)	(28)
	Pasta estabilizada ($Hf \geq 20\%$)	
Forma	Pasta seca ($Hf \leq 12.5\%$)	
	Pasta corta	(28)
	Pasta larga	
	Pasta en láminas	
	Pastas enrolladas	

Además de la pasta tradicional, también se han elaborado pastas con mayor valor nutricional con la incorporación de proteínas, vitaminas o minerales. Al ser un alimento de elevado consumo y por su versatilidad de incorporar distintos ingredientes en un solo platillo, la pasta puede ser considerada un medio para hacer llegar a la población un mayor aporte de proteínas y minerales (28,33).

2.2 Antecedentes del problema

2.2.1 Efecto en la salud del consumo de insectos comestibles del orden Orthoptera

Las investigaciones relacionadas con los insectos comestibles se caracterizan por la evaluación de la composición nutrimental de estos, sin embargo, son menos las investigaciones relacionadas con el impacto en la salud que puede tener la integración de los insectos comestibles a la dieta habitual. En la Universidad Estatal de Colorado, un grupo de investigadores evaluó el impacto del consumo de 25 g de polvo grillo *Grillodes sigillatus* entero sobre la composición de la microbiota intestinal en adultos sanos, los resultados indicaron que el consumo era seguro y no presentaba efectos adversos en la salud gastrointestinal, los cambios observados en la microbiota intestinal de los sujetos de estudio, indicaron un aumento de *Bifidobacterium animalis* (cambio logarítmico de 5.7) relacionada con la quitina del exoesqueleto de los grillos (34). La *B. animalis* es un probiótico que mejora la función gastrointestinal y aumenta la resistencia a las infecciones respiratorias (35). Sin embargo, para considerar a la quitina de grillo como prebiótico, se requieren investigaciones que prueben el efecto prebiótico que pueda presentar la quitina aislada (34).

En un estudio realizado en ratones con una dieta basada en grillos (19.8 g de proteína) para recuperarse de la desnutrición proteica en los primeros años de vida, los resultados fueron que el consumo de polvo de grillo contrarrestó la desnutrición proteica similar a las dietas control (dieta de leche y maní). Además, disminuyó un 47% los niveles de triglicéridos en los ratones, por lo tanto, el consumo de polvo de grillo puede tener un impacto positivo a la salud, esto aporta evidencia del uso de proteína de grillo como otra opción para combatir los efectos de la desnutrición crónica en los primeros años de vida (36). Por otro lado, en una población con ratas desnutridas se determinó que la ingesta *ad libitum* promedio de 227 g de polvo de grillo (*Acheta domesticus*) con 125.9 g de proteína y 4.5 mg de hierro, o de 212.8 g de polvo de gorgojo de la palma (*Rhynchophorus phoenicis fabricius*) con 123 g de proteína,

2.1 mg de hierro, podrían aportar proporciones significativas de las recomendaciones diarias de proteína y minerales en la dieta de los seres humanos (37).

2.2.2 Calidad y digestibilidad de proteínas de grillo

La calidad de las proteínas hace referencia a la proporción de aminoácidos esenciales del alimento, estos se comparan con los requerimientos para los seres humanos, a mayor contenido de aminoácidos esenciales, mayor será la calidad de las proteínas, mientras que la digestibilidad es la cantidad de nitrógeno absorbido en comparación con el nitrógeno excretado (38). Un estudio evaluó la calidad de las proteínas de insectos mediante el perfil de aminoácidos y la digestibilidad *in vitro*, junto con las propiedades fisicoquímicas de los polvos comerciales de grillo (*Grillodes sigillatus*) y gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), en comparación con concentrados de proteínas de guisantes amarillos y habas, los 4 alimentos comparados tuvieron contenidos de proteínas similares, pero el grillo presentó mayor contenido de lípidos (13.7 a 16.1%) y proteína de mejor calidad (65.5%) (39). Ese porcentaje de proteína concuerda con valores reportados para 5 especies de chapulines en México (*Sphenarium histro*, *Sphenarium purpuracens*, *Taeniopodaques B*, *Melanoplus femurrubrum* y *Schistocerca spp*), en donde los resultados determinaron que las muestras en base seca presentaron valores de 62.5 a 77.25% de este macronutriente (40).

Por otra parte, al evaluar el efecto de la ingesta de tres aislados de proteína, uno de suero de leche, otro de soya y el tercero de una larva de harina proveniente del escarabajo *Alphitobius diaperinus*, se observó que las tres fuentes de proteínas cubrieron los requerimientos de aminoácidos propuestos por la FAO/OMS/ONU, además los insectos aportaron 27.3 g de aminoácidos esenciales por 100 g de proteína que se reflejó en las concentraciones sanguíneas después de 120 minutos. Las concentraciones de aminoácidos en sangre inducidas por proteínas de insectos son similares a las de proteína de soya durante un periodo de dos horas postprandial, pero se digieren más lentamente, aun así, los resultados sugieren que la proteína de insectos puede ser una posible alternativa futura a la proteína de soya en la nutrición humana diaria (41).

Por el contenido de proteínas y aminoácidos que aportan los insectos comestibles se han propuesto como suplementos para aprovechar sus propiedades nutricionales, por ejemplo, en

México se evaluó el efecto del suplemento de polvo de tres especies diferentes de chapulín en la ganancia de peso (184.2 g), longitud (39.5 cm) y sobrevivencia en los primeros seis meses de vida de crías de cocodrilo (*Crocodylus moreletii*), en comparación con una alimentación a base de filete de pescado (peso: 130 g y longitud: 34.5 cm), los resultados evidencian que la alimentación con chapulines generó mayor ganancia de peso y un mayor índice de supervivencia en los cocodrilos relacionado con el contenido de proteínas y aminoácidos esenciales (42).

2.2.3 Uso de insectos comestibles del orden Orthoptera en la elaboración de productos comerciales

El consumo de insectos puede estar limitado por la neofobia alimentaria y el rechazo por su aspecto, sin embargo, su incorporación en un producto en donde el insecto no es visible presenta mejor aceptación, esto permite una comercialización de productos e ingredientes alimentarios a base de insectos ofreciendo alternativas a la población para incorporarlos en la dieta, además de aprovechar todas las ventajas ambientales, tecnológicas y nutricionales asociadas con la agricultura de insectos (43).

Investigaciones se han enfocado en el uso de insectos comestibles como ingredientes alimentarios para fortalecer de forma tradicional los alimentos de consumo frecuente, aumentando así su valor nutricional dependiendo de la cantidad de insectos incorporados (44). En un estudio se elaboraron muffins con 2, 5 y 10% de incorporación de polvo de grillo, cambiando la composición nutrimental del producto, al aumentar hasta un 5% su contenido de proteínas, pero también el color, reduciendo la luminosidad y aumentando la saturación del color verde y azul, la percepción de los consumidores también indicó que la apariencia y el color no era agradables, pero sí el sabor y la textura, siendo el muffin con 2% de polvo de grillo el de mejores características y aceptación (45). También se han elaborado pan y galletas con 5, 10 y 15% de polvo de grillo, obteniendo productos con mayor contenido de proteína, hierro, fósforo y menor contenido de carbohidratos y que no presentan diferencias en la aceptación sensorial con 5 y 10% de sustitución en comparación con el control (46).

El polvo de grillo no solo se ha empleado en productos de panadería, en un estudio desarrollaron una salchicha de carne de res con 5, 10 y 15% de sustitución y reportan que la adición no ocasionó cambios en la textura del producto, pero sí en su color, con reducción de

los valores de luminosidad y de las coordenadas a* y b* del color y con aceptación sensorial en las salchichas de 5 y 10% de sustitución (47). Hay una variedad de productos que se pueden adicionar con polvo de insectos y hay productos que contienen insectos del orden *Orthoptera* como ingrediente que se comercializan en el mundo. En la tabla 4 se enlistan algunos ejemplos.

Tabla 4. Productos disponibles en el mercado con la incorporación de grillos o chapulines en su formulación

Marca	Productos que ofrecen	Referencia
Gricha	Grillos cubiertos con chocolate semiamargo sin azúcar. Galletas de harina de trigo con proteína de grillo en tres sabores .	(48)
Totolines	Snack gourmet mexicano (totopos de maíz), con proteína de chapulín y grillo, en tres sabores.	(49)
Cazel	Conserva de salsa de chapulines y semillas. Sal de chapulines.	(50)
Engrillo	Churritos de maíz con polvo de grillo, tres sabores diferentes. Malteada de cacao o vainilla con proteína de grillo.	(51)
Winko	Churritos horneados de amaranto y linaza con chapulín sabor limón o chipotle.	(52)

La incorporación de un nuevo ingrediente en la formulación de un producto puede mejorar el valor nutricional, pero también puede afectar la consistencia y aceptación sensorial, lo que provoca dificultades para obtener productos enriquecidos de calidad adecuada que sea aceptable para los consumidores (53). Esto evidencia que la incorporación de los insectos a los productos de consumo frecuente requiere de un equilibrio entre los beneficios al aporte nutricional y la alteración de las características organolépticas del producto, para que el consumidor esté dispuesto a integrarlo a su consumo habitual.

2.3 Planteamiento del problema

De acuerdo con la UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), actualmente la población a nivel mundial evidencia las consecuencias de la malnutrición, y no solo la salud de los adultos se encuentra afectada, también los niños y adolescentes quienes presentan

sobrepeso y obesidad que puede favorecer el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles como diabetes, hipertensión arterial o enfermedades cardiovasculares. La malnutrición es generada por una alimentación inadecuada, y en los niños y adolescentes la principal causa es la falta o bajo consumo de alimentos de calidad nutricional (que tengan aminoácidos y ácidos grasos esenciales, minerales, vitaminas, fibra dietética y antioxidantes) que contribuyen a un adecuado crecimiento y desarrollo.

En México, la situación no es distinta, por lo que se tienen que implementar acciones, debido a que el país tiene una de las tasas de obesidad infantil más altas del mundo, junto con el cuarto lugar a nivel mundial de consumo de alimentos ultra procesados, y el primero en América Latina. Los alimentos ultra procesados son las galletas, papas fritas, chicharrones, sopas instantáneas, refrescos, por mencionar algunos, estos se caracterizan por ser de mala calidad nutricional, con exceso de grasas, azúcares o sales, bajos en fibra dietética, proteína y compuestos bioactivos, pero también por ser sabrosos, consumirse como snacks, y recibir mucha promoción en los medios de comunicación. Por lo que hay que disminuir el consumo de estos alimentos ultra procesados y buscar alternativas más nutritivas, o mejorar las características de algunos productos procesados.

La pasta de sémola de trigo es considerada un alimento procesado de alto consumo, en México el 99.6% de las familias consumen pasta, principalmente de las formas de espagueti, tallarines, estrella, letras y fideos. Estas se consumen como parte de la comida por su sabor agradable, preparación fácil y rápida. A diferencia de un alimento ultra procesado, la pasta es un producto elaborado con pocos ingredientes y que requiere de una preparación para su consumo.

El contenido nutrimental de las pastas tradicionales es principalmente carbohidratos, y la adición de grillo podría mejorar sus características, debido a que este aporta nutrientes esenciales y compuestos bioactivos. Sin embargo, a pesar de sus concentraciones importantes de aminoácidos esenciales, no son integrados a la dieta habitual debido a sus características morfológicas que resultan desagradables para los consumidores, por lo que se deben de buscar formas de integrarlos en alimentos procesados de alto consumo.

III. Justificación

Por sus características nutrimentales, los insectos del orden *Orthoptera* como los grillos, se han considerado como alternativa proteica, por su aporte de 50 a 70% de proteína y su contenido de aminoácidos esenciales (35.4 - 53.6 g/100g) en cantidad similar, o incluso superior a los reportados para pescado, pollo, carne roja y huevo. Además de tener menor impacto climático y ambiental, en comparación con otros animales de consumo, por lo que la FAO los considera como un alimento ecológicamente sostenible, contribuyendo a la seguridad alimentaria.

Con el surgimiento de granjas dedicadas a la crianza y comercialización de insectos, se puede tener la confianza de adquirir un producto inocuo, que puede ser destinado para la producción de piensos o para la entomofagia, con el consumo del insecto entero o con la elaboración de polvos a partir de los mismos, esto ha permitido su integración en diversidad de productos y ofrece a los consumidores una opción para obtener los beneficios nutrimentales, sin enfrentarse a las características organolépticas que causan rechazo.

Los productos con insectos que se ofertan, en su mayoría son calóricos, con dulce o picante, que pueden no ser recomendado para su consumo frecuente. Por lo tanto, en el presente trabajo se destaca la importancia de diseñar alimentos que se ajusten a las diferentes necesidades de la población y que sean de alto consumo, como la pasta de trigo, que es un alimento que aporta principalmente carbohidratos y puede emplearse en una diversidad de preparaciones.

Con la elaboración de tallarines con polvo de grillo, se pueden obtener los beneficios de ambos alimentos, al obtenerse un alimento con la diversidad de nutrientes del insecto y las opciones tan variadas de la pasta para ser consumida.

IV. Hipótesis

La pasta en forma de tallarín elaborada con polvo de grillo por sus características nutrimentales, actividad antioxidante y aceptación sensorial es una alternativa nutritiva con respecto a pastas elaboradas con sémola de trigo, por su alto contenido proteico.

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar química, sensorial, capacidad antioxidante y de bioaccesibilidad *in vitro* de una pasta en forma de tallarín de polvo de grillo (*Acheta domestica*) para mejorar su contenido nutrimental.

5.2 Objetivos específicos

Elaborar tres formulaciones de pasta en forma de tallarines con polvo de grillo (*Acheta domestica*), harina de trigo y huevo fresco, antes y después de la cocción para determinar su efecto en la composición nutrimental mediante análisis químico proximal, de características fisicoquímicas y calidad de cocción.

Analizar las tres formulaciones de tallarines mediante microscopía electrónica de barrido para identificar los cambios en su estructura y en el contenido de minerales antes y después de la cocción.

Evaluar sensorialmente las pastas mediante una prueba de escala hedónica para determinar la aceptación de las diferentes concentraciones de las pastas hervidas en forma de tallarín con polvo de grillo.

Evaluar la bioaccesibilidad *in vitro* en las tres formulaciones de pastas en forma de tallarín de polvo de grillo para determinar la actividad antioxidante antes y después de la cocción.

VI. Materiales y métodos

6.1 Tipo y diseño de estudio

El diseño de esta investigación es de tipo experimental - prospectivo.

6.2 Selección de la muestra, criterios de inclusión y exclusión

Las materias primas que se emplearon en esta investigación para la elaboración de tallarines, fueron el polvo de grillo de la especie *Acheta domesticus*, proveniente de la granja certificada Agroinsectos en Guanajuato, México, huevo blanco de gallina de la marca Bachoco y harina de trigo marca Selecta.

6.2.1 Criterios de inclusión

- Productos con el empaque sellado, únicamente de las marcas antes mencionadas.

6.2.2 Criterios de exclusión

- Productos caducados o próximos a caducar.
- Productos con daños o alteraciones en el empaque.

6.2.3 Criterios de eliminación

- Aquellos productos que presenten alteraciones o signos de descomposición.

6.3 Tamaño de muestra y muestreo

Para la realización de este proyecto se adquirió polvo de grillo proveniente de Agroinsectos, huevos blancos y harina de trigo, para la elaboración de 500 gramos de pasta en forma de tallarines con polvo de grillo, la cual se deshidrató (pasta cruda-seca). La mitad de la pasta deshidratada se cocinó mediante la técnica de hervido. Una vez obtenidas las pastas crudas-secas y hervidas se les aplicaron las determinaciones de análisis químico proximal, calidad de cocción de las pastas, análisis instrumental (índice de refracción, color y microscopía electrónica de barrido), evaluación sensorial y actividad antioxidante con prueba de bioaccesibilidad *in vitro*.

6.4 Definición de las variables

En la tabla 5 se presentan las variables dependientes e independientes que conforman el estudio.

Tabla 5. Operacionalización de las variables de estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad de medida
Variables independientes			
Pasta en forma de tallarines de polvo de grillo cruda-seca	Pasta con un contenido de humedad de 12.5% máximo (32).	Pasta en forma de tallarines con polvo de grillo que se encuentra cruda-seca con porcentaje de humedad <9%.	g
Pasta en forma de tallarines de polvo de grillo hervida	Pasta seca o fresca que se sumerge en agua a temperatura de ebullición por un tiempo aproximado de 12 minutos (32).	Pasta en forma de tallarines con polvo de grillo cocida mediante inmersión en agua hirviendo.	g
Variables dependientes			
Humedad	Se basa en la separación del agua del alimento secado en estufa (54).	Contenido en porcentaje de humedad por diferencia de pesos.	%
Proteína	Cuantificación de nitrógeno total en la muestra después de una digestión, destilación y titulación (54).	Contenido en porcentaje de proteína al multiplicar los ml de nitrógeno por el factor 6.5.	%
Lípidos	Fracción lipídica que se separa del resto de los componentes con uso de solventes orgánicos (54).	Contenido de lípidos, expresado como porcentaje por diferencia de pesos.	%

Ceniza	Residuo inorgánico que se obtiene al incinerar la materia orgánica de un producto (54).	Determinación del porcentaje de ceniza por diferencia de pesos.	%
Fibra dietética	Cuantificación de la fibra dietética soluble e insoluble mediante el uso de enzimas y diferencia de pesos (55).	Determinación del porcentaje de fibra dietética total por diferencia de pesos.	%
Tiempo óptimo de cocción	Tiempo necesario para la cocción de pastas en agua hirviendo, que se refleja en la desaparición del núcleo blanco en el interior de la pasta (56).	Minutos necesarios para que los tallarines no presenten el núcleo blanco del interior.	min
Porcentaje de hinchamiento	Medición del aumento de volumen de la pasta durante la cocción (57).	Diferencia de los pesos de la pasta deshidratada y de la pasta hervida, expresada en porcentaje.	%
Pérdida de sólidos	Determinación de la cantidad de sólidos que pierden después de la cocción (58).	Peso de los residuos que se quedan en el agua de cocción de la pasta.	%
Capacidad de retención de agua	Cantidad de agua que las proteínas o carbohidratos de una cantidad conocida de alimento pueden retener (59).	Diferencia de pesos de la muestra después de la adición de agua.	g/g

Capacidad de retención de lípidos	Cantidad de aceite absorbida por una muestra (59).	Diferencia de pesos de la muestra después de la adición de aceite de girasol.	g/g
Capacidad de absorción de glucosa	Cantidad de glucosa que se absorbe por una muestra (60,61).	Porcentaje de glucosa que se absorbe por la muestra.	%
Cambios estructurales	Obtención de imágenes virtuales mediante el análisis de interacciones entre electrones y la muestra (62).	Obtención de imágenes por el microscopio electrónico de barrido.	Micrografía
Contenido semicuantitativo de minerales	Análisis semicuantitativo de elementos químicos mediante energía dispersiva de rayos-X de una muestra (62).	Contenido de elementos químicos de una muestra	% de peso atómico
Índice de refracción	Medición del seno de los ángulos de incidencia y de refracción al pasar un rayo de luz (63).	Índice que se observa en el refractómetro de Abbe.	Sin unidad
Color	La medición de los atributos del color, mediante equipos instrumentales que simulan la respuesta del ojo humano al color y la luz (64).	Medición de Luminosidad	Sin unidad
		Coordenadas a* y b*	Sin unidad
		Croma	Sin unidad
		Hue	Grados

Olor (Evaluación sensorial)	Moléculas volátiles del alimento percibidas por el epitelio olfatorio que impactan en la aceptación de un alimento (65).	del Nivel de aceptación de olor, del alimento y asignación de una puntuación.	%
Color (Evaluación sensorial)	Influencia de la gama de colores rojo, verde, azul y amarillo en la elección de un alimento (65).	Nivel de aceptación de color del alimento y asignación de una puntuación.	%
Sabor (Evaluación sensorial)	Conjunto de sensaciones químicas detectadas por el gusto y el olfato que interfieren en la percepción del sabor (65).	Nivel de aceptación de sabor del alimento y asignación de una puntuación.	%
Textura (Evaluación sensorial)	Características de dureza, viscosidad, granulosidad, rigidez, o consistencia que define la preferencia del consumidor por un producto (65).	Nivel de aceptación de textura del alimento y asignación de una puntuación.	%
Ensayo ABTS ^{•+}	Cuantificación del grado de decoloración del radical ABTS ^{•+} en presencia de antioxidantes (66).	Cuantificación espectrofotométría del cambio de color por los antioxidantes de la muestra.	por $\mu\text{g ET}/100$ del g
Ensayo DPPH [•]	Cuantificación del cambio de color del DPPH [•] de violeta a amarillo pálido en presencia de antioxidantes (67).	Cuantificación espectrofotométría del cambio de color por los antioxidantes de la muestra.	por $\mu\text{g ET}/100$ del g

Ensayo FRAP Cuantificación de la capacidad de los antioxidantes para reducir iones férricos (Fe^{3+}) del reactivo FRAP, a su forma de iones ferrosos (Fe^{2+}) (66). Cuantificación por mg de Fe del (II)/100 g de espectrofotometría del cambio de color por los antioxidantes de la muestra.

6.5 Diagrama de diseño experimental

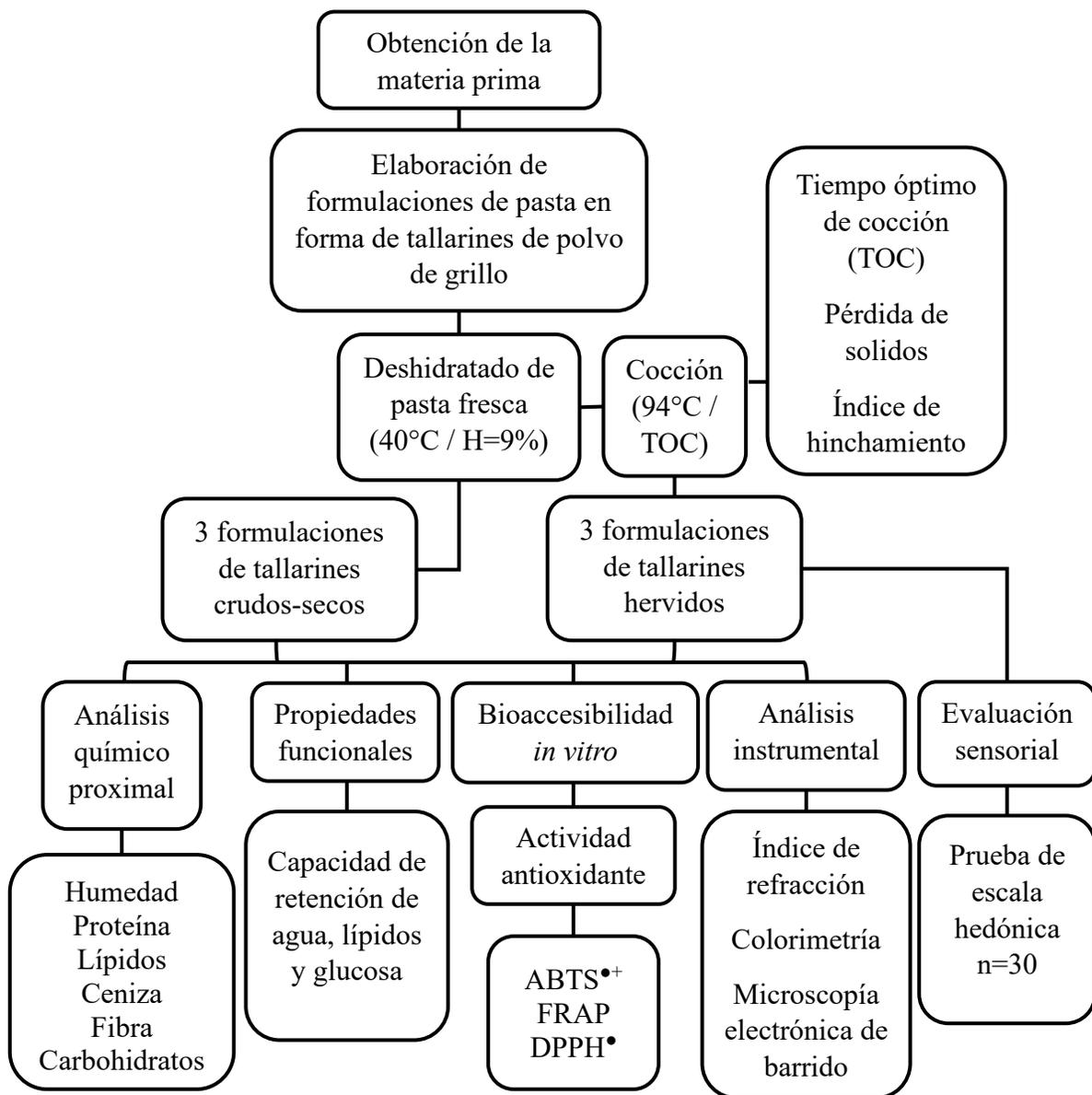


Figura 5. Diagrama experimental

6.6 Metodologías

6.6.1 Elaboración de las formulaciones de pasta tipo tallarín

Se realizaron tres formulaciones de tallarines, en la tabla 6 se puede observar el porcentaje de incorporación de polvo de grillo, harina de trigo y huevo.

Tabla 6. Porcentaje de ingredientes en las formulaciones de pasta.

	Formulaciones		
	F1	F2	F3
Polvo de grillo (%)	7	11	16
Harina de trigo (%)	48	47	44
Huevo (%)	45	42	40

F1: formulación 1, F2: formulación 2 y F3: formulación 3.

Para elaborar la pasta tipo tallarín se realizó una mezcla de los ingredientes, la masa obtenida se pasó por los rodillos de una laminadora para pasta (Marcato, Atlas 150, Italia), hasta llegar al nivel 5 y se utilizó el accesorio que permite realizar cortes en la masa para la obtención de las tiras de tallarín. Las tiras se extendieron sobre papel encerado y se deshidrataron a 40°C por 2 horas y media en un deshidratador (Weston, 74-1001-w, EUA). En la figura 6 se observa el diagrama de flujo de elaboración de la pasta.

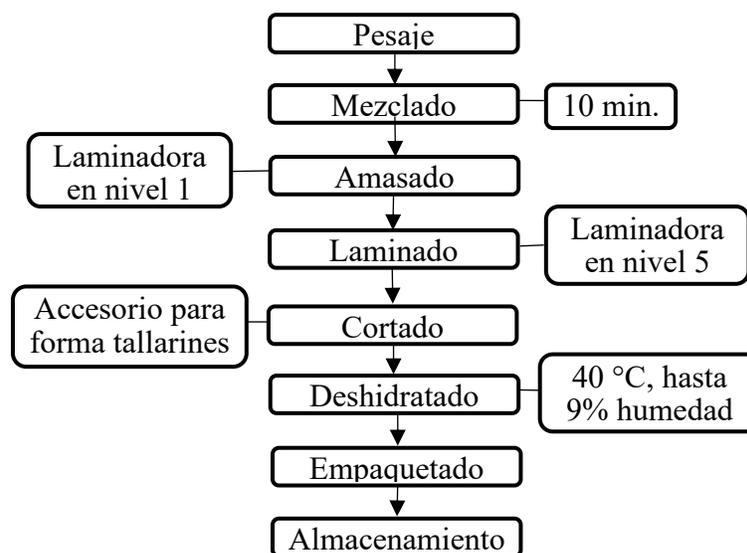


Figura 6. Diagrama de elaboración de pasta en forma de tallarines

6.6.2 Análisis químico proximal

6.6.2.1 Humedad

La determinación del porcentaje de humedad se fundamenta en la diferencia de peso de una muestra después de la evaporación del agua mediante el método de secado en una mufla o estufa (68).

En la determinación del porcentaje de humedad, primero se llevó a peso constante los crisoles, después se agregó 1 g de muestra y depositaron las charolas de aluminio con muestra en un horno de secado (Scorpion Scientific, A52035, EUA) a 105°C por 3 horas. Pasado el tiempo, se realizó el pesaje en una balanza analítica (Adventure, AR 1140, China) y se aplicó la fórmula de porcentaje de humedad (69).

Ecuación 1. Porcentaje de humedad

$$\% \text{ de humedad} = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) \times 100$$

P1: peso inicial de la muestra

P2: peso final de la muestra

6.6.2.2 Proteína

La cuantificación de proteína mediante el método Kjeldahl, se fundamenta en la determinación de nitrógeno total de la muestra considerando tres etapas: la digestión, destilación y titulación. (54)

En la primera etapa, 100 mg de la muestra se colocó en tubos de digestor y se agregaron 2 mL de agua destilada, 15 mL de ácido sulfúrico concentrado y 1 tableta catalizadora de sulfato de potasio y sulfato de sodio (Kjeldahl tablets, Merck millipore, Alemania), se preparó un blanco por cada muestra, y se colocaron los tubos en el sistema de digestión (Gerhardt, KB8, Alemania), con aumento progresivo de temperatura hasta alcanzar 405°C durante 95 minutos y se neutralizaron los gases emitidos con hidróxido de sodio al 10%, con un lavador de gases (Gerhardt, TUR, Alemania). Después de la digestión se colocó cada tubo en el sistema de destilación (Gerhardt Bonn, vapodest 50, Alemania), se añadió ácido bórico al 3% para la destilación y se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N. Los mililitros gastados en la

titulación se multiplicaron por el factor de conversión de 6.25 para obtener el porcentaje de proteína (69).

6.6.2.3 Lípidos

La extracción de lípidos por el método Soxhlet, se basa en la separación de la fracción lipídica con un sistema de extracción cíclico que separa los componentes solubles en éter del resto de los componentes de la muestra. Posteriormente se mide la fracción separada (54).

El cálculo del porcentaje de lípidos se realizó por triplicado, primero se llevaron a peso constante los matraces de bola de fondo plano y los cartuchos de celulosa, después se adicionaron 225 mL de hexano y se pesó el cartucho de celulosa y se agregó 1 g de la muestra. La extracción se llevó a cabo durante 3 horas en un equipo de extracción de Soxhlet (Buchi, B-811, Suiza). Finalmente se separó el aceite del disolvente por evaporación (69). El aceite obtenido se pesó en una balanza analítica y se reservó para la medición del índice de refracción.

Ecuación 2. Porcentaje de lípidos

$$\% \text{ de lípidos} = \left(\frac{P1 - P2}{P3} \right) \times 100$$

P1: peso del matraz con grasa

P2: peso constante del matraz

P3: peso de la muestra

6.6.2.4 Cenizas

El método se basa en determinar los residuos inorgánicos que se obtienen al incinerar la materia orgánica de una muestra. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra. (54)

Para este método, se puso a peso constante y pesaron 3 crisoles de porcelana por cada muestra, se colocó 1 g de muestra, que se carbonizaron a fuego directo. Posteriormente se depositaron los crisoles con la muestra carbonizada en una mufla (Thermolyne, F1500, EUA) a 550°C durante 5 horas, finalmente se pesó en una balanza analítica y se obtuvo el porcentaje por diferencia de pesos. (69)

Ecuación 3. Porcentaje de ceniza

$$\% \text{ de ceniza} = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) \times 100$$

P1: peso inicial del crisol con la muestra

P2: peso final del crisol con la muestra

6.6.2.5 Fibra dietética total

La determinación de fibra dietética consiste en la digestión de las proteínas y almidón de la muestra con las enzimas alfa amilasa, proteasa y amiloglucosidasa, es un método enzimático y gravimétrico, por lo que se calcula por diferencia de pesos. (70)

La determinación de fibra dietética total se realizó en tres etapas, una enzimática, después la extracción con etanol y por último una filtración. Se pesaron 500 mg de muestra desengrasada en un matraz, junto con 25 mL de buffer de fosfatos 0.8 M con pH 6 y 50 µL de alfa amilasa. Se llevó a baño de agua a 95°C por 15 minutos en un baño de agitación con temperatura controlada (Velp Scientifica, Europa) y pasado el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se ajustó el pH a 7.5 con hidróxido de sodio. Después se adicionó 50 µL de proteasa y se llevó a baño de agua (60°C por 30 minutos) con agitación (LabTech, LSB-015S, México). Se enfrió y ajustó pH a 4.6 y se agregó 50 µL de amiloglucosidasa y se colocó en baño de agua con las condiciones anteriores. Se agregó etanol al 95% (4 veces el volumen que contenía el matraz) y se dejó reposar 12 horas. Por último, se realizó una filtración con vacío con lavados de etanol al 78%, etanol al 95% y acetona en crisoles gooch de vidrio con 0.25 g de celita a peso constante (105°C por 2 horas). Después, los crisoles se dejaron 16 horas en el horno (Scorpion Scientific, A52035, EUA) a 105°C. Del residuo de los crisoles se calculó el contenido de ceniza y proteína con los métodos ya descritos. El contenido de fibra de la muestra desengrasada se determinó por diferencia de pesos (69).

Ecuación 4. Porcentaje de fibra dietética

$$\text{Blanco}(mg) = \left(\frac{P1 + P2}{2} \right) - P3 - P4$$

$$\% \text{ Fibra dietética} = \frac{[(P5 + P6)/2] - P7 - P8 - \text{Blanco}}{(P9 + P10)/2} \times 100$$

- P1: peso del residuo del blanco 1
- P2: peso del residuo del blanco 2
- P3: peso de proteína del blanco
- P4: peso de ceniza del blanco
- P5: peso del residuo de la muestra 1
- P6: peso del residuo de la muestra 2
- P7: peso de la proteína de la muestra
- P8: peso de cenizas de la muestra
- P9: peso inicial de la muestra 1
- P10: peso inicial de la muestra 2

6.6.3 Pruebas de calidad de cocción

6.6.3.1 Tiempo óptimo de cocción

El tiempo óptimo de cocción es el necesario para que, durante la cocción en agua hirviendo, desaparezca el núcleo blanco opaco que se observa en el interior de la pasta al comprimirla entre dos placas transparentes, usualmente de vidrio (56).

Para la determinación del tiempo que requiere la pasta para su cocción se utilizó el método 50-66.1 de la American Association of Cereal Chemists (AACC) (71). Se pesaron 25 g de pasta que se colocaron en un vaso de precipitados con 300 mL de agua destilada en ebullición, con agitación y adición de agua hirviendo de forma ocasional para evitar que la pasta se pegue. Después de los primeros 5 minutos se tomó un trozo de pasta y se comprimió entre dos placas de vidrio, esta operación se repitió cada minuto hasta que desapareció la línea blanca que se forma al centro de la pasta.

6.6.3.2 Porcentaje de hinchamiento

Este porcentaje permite medir la capacidad de los gránulos de almidón presentes en la pasta, de absorber agua durante la cocción, que se refleja como aumento en el volumen de la pasta. (57). Para la determinación se colocaron 50 gramos de pasta seca, en un vaso de precipitado con 400 mL de agua destilada hirviendo. Pasado el tiempo necesario para completar la cocción, la pasta se escurrió y enfrió hasta alcanzar 2°C (72):

Ecuación 5. Porcentaje de hinchamiento

$$\text{Porcentaje de hinchamiento} = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$$

P1: Peso de pasta hervida

P2: Peso de pasta seca

6.6.3.3 Pérdida de sólidos por cocción

La pérdida de sólidos por cocción es un parámetro de la calidad en la pasta y consiste en determinar el porcentaje de sólidos que quedan disueltos en el agua después de la cocción, que son principalmente almidones, proteínas y minerales (58). Para esta prueba, se llevó a peso constante un vaso de precipitado y se colocaron 70 mL de agua destilada hasta llegar a ebullición, para después añadirle 5 gramos de pasta previamente pesados. Después de la cocción, se retiró la pasta, mientras que el agua de cocción en el vaso de precipitados se evaporó en un horno (Scorpion scientific, A52035, EUA) a 115°C. Después de la evaporación, se pesó el residuo y se aplicó la siguiente fórmula (73):

Ecuación 6. Porcentaje de pérdida de sólidos

$$\% \text{ de pérdida de sólidos} = \frac{[P1 - (P2 - P3)]}{P3}$$

P1: vaso de precipitado a peso constante

P2: residuo en vaso de precipitado

P3: peso de pasta cruda

6.6.4 Propiedades funcionales

6.6.4.1 Capacidad de absorción de agua y lípidos

Las propiedades funcionales se pueden determinar mediante la capacidad de absorción de agua o lípidos, que consisten en la cantidad (de agua o aceite) que puede ser absorbida por una cantidad conocida de muestra con fibra dietética después de ser mezclada y centrifugada. (59).

En tubos para centrífuga se pesaron 0.5 g de muestra y se le añadieron 10 mL de aceite de girasol o de agua, y se llevaron a agitación para después reposar por 24 horas. Posterior al tiempo de reposo se centrifugaron (Beckman, Coulter Allerga 25r, EUA) por 10 minutos a

300 rpm. Se retiró el sobrenadante para registrar el peso del sedimento. Para la capacidad de absorción de agua los resultados se reportaron como g de agua/g muestra seca, mientras que para absorción de lípidos fue g de lípidos/g muestra seca (74).

$$\% \text{ de absorción de agua o lípidos} = P2 - P1 - \left(\frac{P3}{1000} \right) \times 4$$

Ecuación 7. Fórmula para determinar el porcentaje de absorción de agua o lípidos

P1: peso del tubo vacío

P2: peso del tubo después de las 24 horas

P3: peso de la muestra

6.6.4.2 Capacidad de absorción de glucosa

La fibra dietética presente en los alimentos también tiene la capacidad de formar una red para retener o absorber moléculas de glucosa, y sumergir una muestra con fibra en diferentes concentraciones de glucosa, controlando condiciones como temperatura y tiempo, así como cantidad y porosidad de la muestra permiten estimar la cantidad de glucosa que puede absorberse durante el tracto gastrointestinal (61).

En tubos de centrifuga de 15 mL, se pesaron 250 mg de muestra y agregaron 10 mL de solución glucosada (0.25 g, 0.50 g, 1 g y 2 g por 100 ml de agua destilada). Después se incubaron a 37°C por 6 horas en agitación, pasado el tiempo se centrifugaron (Beckman, Coulter Allerga 25r, EUA) a 3500 rpm durante 15 minutos. Se elaboró una curva patrón con solución stock de glucosa (10 g/L) a las concentraciones de 0 a 10 mg/mL, y se tomaron 180 µL de DNS con 30 µL del sobrenadante de la muestra en los tubos de centrifuga y se colocaron por 15 minutos en agua a ebullición. Se realizó lectura espectrofotométrica a 540 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, EUA) (60). Los resultados se reportaron como % de absorción de glucosa.

6.6.5 Análisis de instrumental de las pastas

6.6.5.1 Microscopía electrónica de barrido

El microscopio electrónico de barrido permite obtener imágenes digitales de una muestra, mediante el análisis de las interacciones, que se producen cuando el cañón electrónico de alta

energía genera un haz de electrones que se desplaza sobre la superficie de la muestra, a esto se le llama barrido. La imagen generada puede ser analizada y amplificada para observar cambios morfológicos de la superficie del materiales o muestras pétreas, metálicas y orgánicas (62).

Las muestras de tallarines crudos y hervidos se liofilizaron (Labconco, VWR26671-581, EUA), molieron y tamizaron a un tamaño de partícula de 500 μm . Posteriormente, sobre el porta muestras se colocaron cuadrados de cinta de carbono y sobre estos se colocó la muestra. Después dentro de un cobertor iónico (Denton Vacuum Desk V, EUA), se les aplicó un recubrimiento de oro de 1 mm y fueron analizadas en el microscopio electrónico de barrido (Jeol, JSM-6300, EUA) a 500 y 1000 ampliificaciones. Además, se realizó espectroscopía de energía dispersiva para identificar la presencia de elementos químicos, los minerales identificados se expresaron como porcentaje de peso atómico.

6.6.5.2 *Índice de refracción*

El refractómetro de Abbe determina el índice de refracción de muestras de aceites esenciales, aceites y grasas vegetales o animales, que se fundamenta en medir el seno de los ángulos de incidencia y de refracción que se forman cuando el rayo de luz pasa del aire a otro medio y que ocasiona que se propague en diferentes velocidades (63).

Para determinar el índice de refracción se siguió el procedimiento que viene en el equipo refractómetro tipo Abbe (ATAGO, Master-RI, EUA), que permitió medir el ángulo de refracción. Primero se realizó la extracción del aceite de las muestras por el método soxhlet, con las condiciones antes descritas, después se limpió el refractómetro con alcohol usando algodón para colocar una gota de aceite entre el prisma y la placa de luz diurna que tiene el equipo, verificando que no se formaran burbujas de aire y se realizó la lectura. El resultado obtenido se comparó con la tabla de índice de refracción de aceites que viene incluida con el equipo (Anexo 1) (63).

6.6.5.3 *Color*

La medición de color es un parámetro de calidad de los alimentos, y se puede realizar de forma instrumental con el uso de un colorímetro, el cual permite definir los atributos del

color, mediante el uso de tres filtros (rojo, verde y azul), que simulan la respuesta del ojo humano al color y la luz (64).

Para la evaluación de color se colocaron tallarines crudos y hervidos en recipientes con cantidad suficiente para cubrir la lente del colorímetro. La determinación de color se realizó con un colorímetro portátil (CHN Spec, CS-10, China), primero se calibró el equipo y se continuó con la valoración de las muestras. Se registró luminosidad (L^*), la variación de rojo a verde (a^*), la variación de amarillo a azul (b^*) y los valores de Hue (H°) y croma (C^*) (75).

6.6.6 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es una prueba o técnica que se basa en la percepción de un grupo de individuos para identificar la apreciación sobre los alimentos, sustancias o preparaciones que saborea, y en ese sentido las pruebas discriminativas permiten establecer diferencias o similitudes entre dos o más muestras (76).

La evaluación sensorial se realizó utilizando un formato de escala hedónica (anexo 2), y a cada una de las formulaciones de pasta de tallarines se les asignó un código: F1=453, F2=735, F3=627. Antes de la evaluación sensorial, la pasta se sometió a un proceso de cocción, para ello, se sumergieron los tallarines crudos en agua potable a temperatura de ebullición durante el tiempo óptimo de cocción de cada fórmula, sin la adición de ningún ingrediente extra. La pasta hervida se colocó en los vasos de muestra sin la adición de aderezos con el código correspondiente. La evaluación se realizó en un laboratorio a 30 individuos hombres y mujeres mayores de 18 años, se les otorgó agua sin sabor para enjuagar su boca entre evaluaciones y los tres vasos que contenían las formulaciones, evaluaron su nivel de aceptación de los tallarines hervidos en sus atributos de color, olor, sabor, textura y aceptación general, por medio de una puntuación de escala hedónica de 9 puntos (1=me disgusta muchísimo y 9=me gusta muchísimo) (77).

6.6.7 Bioaccesibilidad de actividad antioxidante

Para las determinaciones de actividad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP), previamente se realizó una extracción acuosa-orgánica. Primero se colocaron 250 mg de muestra en tubos de centrífuga y se agregó 10 mL de una solución de metanol/agua (50:50), se agitó a 300 rpm por 30 minutos y posteriormente se centrifugó (Hamilton bell, V6500, EUA) a 3400 rpm por

10 minutos. El sobrenadante se retiró y al sedimento se le agregó 10 mL de acetona/agua (70:30) y se agitó y centrifugó bajo las mismas condiciones. Los 2 sobrenadantes se mezclaron y aforaron a 25 ml con metanol/agua:Acetona/agua (1:1) (78).

6.6.7.1 Ensayo ABTS^{•+}

La actividad antioxidante se puede cuantificar por el grado de decoloración del radical ABTS^{•+} que es verde azulado, en presencia de antioxidantes de naturaleza hidrofílica y lipofílica. El radical se forma por la reacción de oxidación entre el ABTS [2,2 azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato de amonio)] con persulfato de potasio. La inhibición del radical es proporcional a la concentración del antioxidante (66).

Se preparó una solución de ABTS 7 mM (diluyendo 76.8 g en 20 mL de agua destilada), posteriormente se le adicionó persulfato de potasio 2.45 mM (6.6 mg en 10 mL de agua destilada) para obtener una coloración verde azulada y se dejó reposar por 16 horas en oscuridad, después se agregó agua destilada hasta obtener una dilución con una absorbancia de 0.7 ± 0.1 a 754 nm. La elaboración de la curva patrón se realizó utilizando trolox (ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) a las concentraciones 0, 60, 120, 180, 240 y 300 $\mu\text{mol/L}$. Después se tomaron 100 μL de muestra más 900 μL de la dilución de ABTS^{•+}, dejando reposar 7 minutos, y se leyó en lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, EUA) a 754 nm. Los resultados se expresaron como μmol Equivalentes de Trolox/100 g (79).

6.6.7.2 Ensayo DPPH[•]

Este ensayo se basa en la medición espectrofotométrica de la decoloración del radical libre DPPH[•] (2,2-difenil-1-picril-hidrazilo), que tiene un electrón desapareado y es de coloración azul-violeta. En presencia de un antioxidante puede donar un átomo de hidrogeno y cambiar a una tonalidad amarillo pálido (67).

Se preparó la solución de DPPH[•] (7.4 mg de DPPH en 100 mL con etanol). La curva se realizó con trolox (3.75 mg en 50 mL etanol) a 0, 50, 100, 200 y 300 $\mu\text{mol ET/L}$. Para la lectura espectrofotométrica se colocaron 100 μL de cada muestra y 500 μL de la solución de DPPH[•], se agitó y reposó por 60 minutos. La absorbancia (520 nm) se leyó en un lector de

microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, EUA). Los resultados se expresaron como μmol Equivalentes de Trolox/100 g (80).

6.6.7.3 Ensayo FRAP

Este ensayo se basa en la capacidad de los antioxidantes para la reducción los iones férricos (Fe^{3+}) presentes en el reactivo FRAP, a su forma de iones ferrosos (Fe^{2+}), y la determinación de la concentración final por medio de lectura espectrofotométrica (66).

Antes de realizar el ensayo, se preparó el reactivo FRAP, en una concentración 10:1:1 de amortiguador de acetato de sodio a pH 3.6 (2.46 g en 100 mL), TPTZ (2,4,6-tripiridil-1,3,5-triazina) (31.23 mg en 10 mL de HCl 40 mM) y Cloruro férrico (54.1 mg de FeCl_3 en 10 mL de agua). Se elaboró una curva patrón de sulfato ferroso 5M (13.9 mg en 10 mL HCl 20 mmol). Después se tomaron 30 μL de la muestra, 90 μL de agua destilada y 900 μL del reactivo FRAP, se agitó y se colocó en un baño de agua (37°C) durante 10 minutos. Después se tomó lectura en un espectrofotómetro (Power Wave XS UV-Biotek, software KC Junior, EUA) a 593 nm, los resultados se expresaron en μmol de Fe^{+2} por 100 g (81).

6.6.7.4 Bioaccesibilidad intestinal *in vitro*

La técnica se fundamenta en dos fases, en la primera se realiza una simulación del proceso de digestión intraluminal empleando las enzimas pepsina, bilis porcina y pancreatina y una segunda fase de simulación de absorción intestinal mediante diálisis (82).

Se pesaron 500 mg de muestra y se añadió 20 mL de agua destilada, se ajustó el pH a 2 utilizando HCl 6M. Se agregaron 120 μL de pepsina (40 mg de pepsina en 1 mL de HCl 0.1M), la muestra se incubó a 37°C , por 2 horas a 60 rpm. Después se agregó 1.5 mL de una solución bilis-pancreatina (12.5 mg de colato de sodio, 12.5 mg dioxicolato de sodio y 5 mg de pancreatina en 1 mL de NaHCO_3 0.1 M). El líquido resultante se dializó en membranas de diálisis de 12 KDa en NaHCO_3 0.1M a pH 7.5 y se incubaron (Labtech, LSI-3016, Corea) a 37°C con agitación a 60 rpm (82). Se reservó la fracción bioaccesible para la determinación de actividad antioxidante por los métodos de ABTS, DPPH y FRAP.

6.7 Análisis estadístico

Los análisis se realizaron por triplicado, excepto fibra dietética que se realizó por cuatriplicado y bioaccesibilidad que fue por duplicado. Los resultados fueron expresados como media \pm desviación estándar, para comparar formulaciones se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con una prueba post hoc de Tukey, con un intervalo de confianza del 95%. Para comparar los dos tratamientos se aplicó t de Student para muestras independientes con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0.05$). Se utilizó el software estadístico IBM SPSS versión 25.

VII. Resultados

7.1 Análisis químico proximal

Los resultados correspondientes al análisis químico proximal de las formulaciones de pasta con polvo de grillo cruda-seca y hervida se expresan en la tabla 7. Al comparar los tratamientos por cada formulación, el T1 (pasta cruda-seca), fue mayor significativamente en todos los parámetros de las tres formulaciones, excepto humedad. Al analizar el efecto de los dos tratamientos en las formulaciones, la F1 aumentó su contenido de humedad en T2 (pasta hervida), mientras que para T1 fue en lípidos, fibra dietética y carbohidratos. La F3 tuvo los valores más altos en la mayoría de los parámetros en ambos tratamientos excepto en el T2 para humedad y en el T1 para lípidos y carbohidratos. No se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en T1 para humedad y fibra dietética.

Tabla 7. Análisis químico proximal (%) de tres formulaciones de tallarines con polvo de grillo (Base húmeda).

Análisis		Formulaciones de pasta		
		F1	F2	F3
Humedad	T1	8.52 ± 0.28 ^a	9.18 ± 0.56 ^a	9.10 ± 0.16 ^a
	T2	71.20 ± 0.26 ^{a*}	65.40 ± 0.36 ^{b*}	56.65 ± 0.28 ^{c*}
Proteína	T1	17.74 ± 0.28 ^{c*}	24.23 ± 0.10 ^{b*}	27.53 ± 0.29 ^{a*}
	T2	7.09 ± 0.04 ^c	9.76 ± 0.24 ^b	13.42 ± 0.07 ^a
Lípidos	T1	40.95 ± 0.30 ^{a*}	36.64 ± 0.21 ^{b*}	35.33 ± 0.30 ^{c*}
	T2	7.66 ± 0.15 ^c	8.84 ± 0.20 ^b	10.62 ± 0.04 ^a
Ceniza	T1	1.40 ± 0.02 ^{b*}	1.92 ± 0.04 ^{a*}	1.95 ± 0.02 ^{a*}
	T2	0.52 ± 0.01 ^c	0.83 ± 0.00 ^b	1.00 ± 0.01 ^a
Fibra	T1	6.25 ± 0.30 ^{a*}	6.67 ± 0.17 ^{a*}	7.08 ± 0.47 ^{a*}
	T2	2.63 ± 0.14 ^b	3.31 ± 0.17 ^a	3.26 ± 0.14 ^{ab}
Carbohidratos**	T1	24.84 ± 0.46 ^{a*}	21.34 ± 0.59 ^{b*}	18.97 ± 0.74 ^{c*}
	T2	10.87 ± 0.19 ^c	11.83 ± 0.27 ^b	15.01 ± 0.20 ^a

Se muestra promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones de pasta. * Indica diferencia significativa entre la pasta cruda-seca y la pasta hervida. **Carbohidratos calculados por diferencia. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo, T1: Pasta cruda-seca y T2: Pasta hervida.

7.2 Pruebas de calidad de cocción

Los resultados del tiempo óptimo de cocción, índice de hinchamiento y pérdida de sólidos por cocción de las tres formulaciones de pasta se muestran en la tabla 8, estas determinaciones forman parte de las pruebas de calidad de cocción de la pasta. De las tres formulaciones realizadas, la F1 presentó valores superiores ($p < 0.05$) para los parámetros de índice de hinchamiento y pérdida de sólidos, mientras que, para la determinación de tiempo óptimo de cocción, el mayor tiempo de cocción fue para la pasta F3.

Tabla 8. Pruebas de calidad de cocción de las tres formulaciones de tallarines con polvo de grillo.

Análisis	Formulaciones de pasta		
	F1	F2	F3
Tiempo óptimo de cocción (minutos)	12.25 ± 0.23 ^c	14.05 ± 0.47 ^b	15.12 ± 0.04 ^a
Índice de hinchamiento (%)	1.82 ± 0.01 ^a	1.53 ± 0.02 ^b	1.02 ± 0.06 ^c
Pérdida de sólidos por cocción (%)	8.68 ± 0.65 ^a	6.19 ± 0.76 ^b	2.66 ± 0.13 ^c

Se muestra promedio ± desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre formulaciones de pasta. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo.

7.3 Propiedades funcionales

La tabla 9 muestra los resultados correspondientes a las propiedades funcionales de los tallarines. Al realizar comparaciones entre formulaciones con ambos tratamientos, en T1 (pasta cruda-seca) los resultados de análisis de capacidad de absorción de agua y lípidos fueron similares ($p < 0.05$). Mientras que para el T2 (pasta hervida), las F1 y F2 presentaron los valores mayores ($p < 0.05$), excepto en absorción de glucosa. Al comparar entre tratamientos, se observaron diferencias en la capacidad de absorción de agua, con los resultados más altos ($p < 0.05$) para el T2. Para la determinación de absorción de glucosa solo se obtuvieron datos para el tratamiento 2, con el mayor valor en F2.

Tabla 9. Propiedades funcionales de la fibra dietética de tallarines de polvo de grillo

Análisis	Formulaciones de pasta			
		F1	F2	F3
Capacidad de absorción de agua g/g	T1	0.83 ± 0.00^a	0.84 ± 0.01^a	0.81 ± 0.01^a
	T2	$2.29 \pm 0.06^{a*}$	$2.23 \pm 0.07^{a*}$	$1.96 \pm 0.05^{b*}$
Capacidad de absorción de lípidos g/g	T1	1.01 ± 0.03^a	1.05 ± 0.02^a	0.98 ± 0.03^a
	T2	1.01 ± 0.02^{ab}	1.04 ± 0.01^a	0.95 ± 0.05^b
Capacidad de absorción de glucosa %	T1	nd	nd	nd
	T2	15.35 ± 1.52^c	17.04 ± 4.56^a	16.91 ± 2.18^{bc}

Se muestra promedio \pm desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones de pasta. * Indica diferencia significativa entre la pasta cruda-seca y la pasta hervida. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo, T1: Pasta cruda-seca y T2: Pasta hervida. Resultado no detectado se expresa como: nd

7.4 Análisis de instrumental de las pastas

7.4.1 Microscopía electrónica de barrido

Las imágenes obtenidas de las tres formulaciones de tallarines crudos-secos y hervidos con el microscopio electrónico de barrido (500 magnificaciones), se muestran en la Figura 7. En las micrografías de las 3 formulaciones de pastas de ambos tratamientos, se pueden observar formas esféricas y ovaladas (señalados con una flecha roja), que pueden atribuirse al almidón, excepto para la F1 hervida. También, en óvalos azules se señalan estructuras rugosas y aplanadas en todas las muestras, que podrían relacionarse con el polvo de grillo.

Como parte de la espectroscopia de energía dispersa, la concentración semicuantitativa de minerales se observa en la tabla 10, entre las tres formulaciones del T1 (pasta cruda-seca), la F1 presentó los valores más altos ($p < 0.05$) en el contenido de magnesio y potasio. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las formulaciones del T2 en el contenido de magnesio y potasio, así como en fósforo y hierro de ambos tratamientos. Entre los tratamientos, se encontraron diferencias en el contenido de potasio en la pasta F1, con el mayor contenido para la muestra cruda-seca.

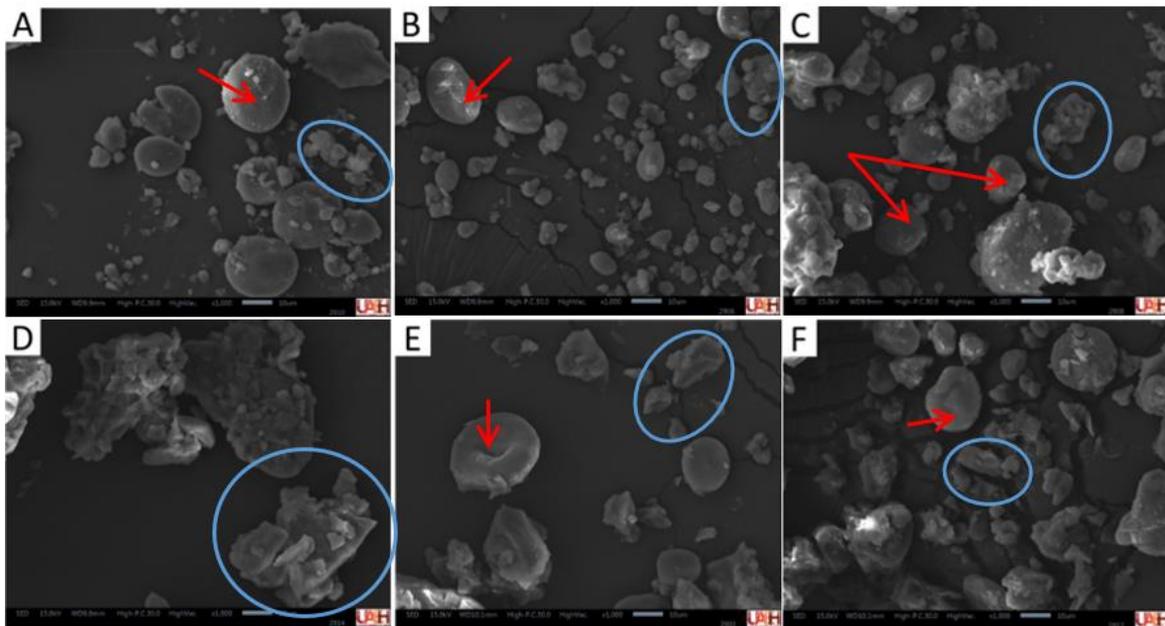


Figura 7. Micrografías de pastas de polvo de grillo.

Micrografías a 500X. A: pasta F1 deshidratada, B: pasta F2 deshidratada, C: pasta F3 deshidratada, D: pasta F1 hervida, E: pasta F2 hervida y F: pasta F3 hervida.

Tabla 10. Concentración semicuantitativa de minerales por espectroscopia de energía dispersa de tallarines de polvo de grillo (% peso atómico)

Minerales	Formulaciones de pasta			
		F1	F2	F3
Mg	T1	0.30 ± 0.10 ^a	0.02 ± 0.02 ^b	0.04 ± 0.02 ^{ab}
	T2	0.07 ± 0.07 ^a	0.03 ± 0.04 ^a	0.06 ± 0.07 ^a
P	T1	0.52 ± 0.13 ^a	0.23 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.27 ^a
	T2	0.22 ± 0.04 ^a	0.27 ± 0.26 ^a	0.35 ± 0.14 ^a
K	T1	2.40 ± 0.24 ^{a*}	0.51 ± 0.19 ^b	0.79 ± 0.48 ^b
	T2	0.16 ± 0.06 ^a	0.22 ± 0.21 ^a	0.21 ± 0.04 ^a
Fe	T1	nd	0.15 ± 0.11 ^a	0.04 ± 0.05 ^a
	T2	0.05 ± 0.07 ^a	0.01 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.02 ^a

Se muestra promedio ± desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones de pasta. * Indica diferencia significativa entre la pasta cruda-seca y la pasta hervida. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo, T1: Pasta cruda-seca y T2: Pasta hervida. Resultado no detectado se expresa como: nd.

7.4.2 Índice de refracción

El índice de refracción que se obtuvo para las pastas con ambos tratamientos (tabla 11), fue similar ($p < 0.05$) entre las tres formulaciones de tallarines de ambos tratamientos (T1: cruda-seca y T2: hervido). Al comparar los tratamientos se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) en la F1, con el mayor valor en la pasta de T2.

Tabla 11. Índice de refracción de pastas de polvo de grillo.

Análisis	Formulaciones de pasta			
		F1	F2	F3
Índice de refracción	T1	1.449 ± 0.00^a	1.457 ± 0.00^a	1.460 ± 0.00^a
	T2	$1.467 \pm 0.00^{a*}$	1.464 ± 0.00^a	1.464 ± 0.00^a

Se muestra promedio \pm desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones de pasta. * Indica diferencia significativa entre la pasta cruda-seca y la pasta hervida. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo, T1: Pasta deshidratada y T2: Pasta hervida.

7.4.3 Análisis de color

La evaluación de las características colorimétricas de las tres formulaciones se encuentra en la tabla 12. Debido a que se presentan valores negativos en la coordenada del color a^* y positivos en la b^* , las formulaciones de tallarines con polvo de grillo, se agrupan en el cuadrante verde-amarillo. Al comparar las formulaciones de tallarines de ambos tratamientos, se encontraron valores mayores significativamente ($p < 0.05$) para F1 en los atributos de luminosidad (L^*), en la coordenada b^* con resultados positivos (tendencia al color amarillo) y en croma (C^*), mientras que para F3 en el parámetro a^* con resultados negativos (tendencia al color verde) y en tono (H°). Entre los dos tratamientos, se observó diferencias significativas ($p < 0.05$) para el T1 (pasta cruda-seca) en L^* de las tres formulaciones, y para el T2 (pasta hervida) en b^* y croma en la F1 y tono en la F3.

Tabla 12. Análisis de las características colorimétricas de pastas de polvo de grillo

Análisis	Formulaciones de pasta			
		F1	F2	F3
L^*	T1	$61.98 \pm 0.60^{a*}$	$57.59 \pm 0.24^{b*}$	$56.15 \pm 0.03^{c*}$
	T2	58.61 ± 0.20^a	55.37 ± 0.23^b	52.41 ± 0.48^c
a^*	T1	-0.52 ± 0.07^{ab}	-0.28 ± 0.08^b	-0.95 ± 0.34^a
	T2	-0.49 ± 0.05^b	-0.88 ± 0.42^{ab}	-1.49 ± 0.13^a
b^*	T1	9.37 ± 0.36^a	9.20 ± 0.40^a	7.33 ± 0.28^b
	T2	$11.30 \pm 0.04^{a*}$	9.30 ± 0.50^b	7.22 ± 0.37^c
H°	T1	93.22 ± 0.58^{ab}	90.83 ± 2.00^b	96.35 ± 1.81^a
	T2	92.49 ± 0.26^b	95.53 ± 2.81^b	$101.74 \pm 1.66^{a*}$
C^*	T1	9.39 ± 0.36^a	9.20 ± 0.40^a	7.40 ± 0.32^b
	T2	$11.31 \pm 0.04^{a*}$	9.35 ± 0.46^b	7.37 ± 0.34^c

Se muestra promedio \pm desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones de pasta. * Indica diferencia significativa entre la pasta cruda-seca y la pasta hervida. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo, T1: Pasta cruda-seca y T2: Pasta hervida. L^* : luminosidad, a^* y b^* son coordenadas del color H° : tono y C^* : croma

7.5 Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial realizada a las 3 formulaciones de tallarines hervidos se muestran en la Figura 8, en las características de sabor (F1: 75.55%, F2:72.22% y F3: 75.18%) y textura (F1: 77.03%, F2:78.14% y F3: 76.66%), las pastas tuvieron un porcentaje de aceptación similar. Fueron los parámetros de olor (F1: 69.25%, F2: 70.00% y F3: 64.81%) y color (F1: 80.37%, F2:71.11% y F3: 62.96%) en los que se observaron diferencias, con porcentajes de aceptación mayores en los tallarines de la formulación F1. El porcentaje de aceptación general de los tallarines fue más alto en la F1 (40%), seguida de la F3 (33.33%) que tenía más incorporación de polvo de grillo y por último la F2 (26.66%).

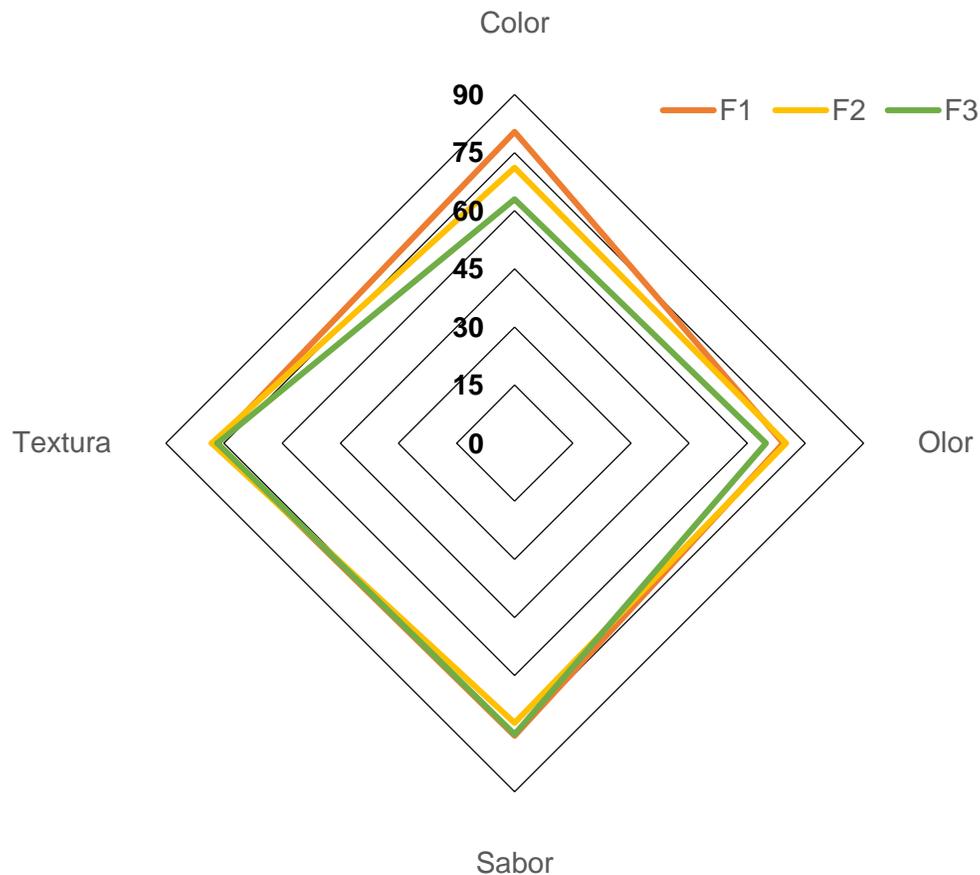


Figura 8. Evaluación sensorial de formulaciones de tallarines con polvo de grillo.

7.6 Bioaccesibilidad de la actividad antioxidante

En la tabla 13 se presentan los datos obtenidos de la actividad antioxidante de las muestras, antes (muestras originales) y después del proceso de diálisis (muestras bioaccesibles) que permitió conocer la bioaccesibilidad de actividad antioxidante, para las tres formulaciones de tallarines (F1, F2 y F3) elaborados en esta investigación antes y después de aplicar el tratamiento de cocción (pasta cruda-seca y pasta hervida).

En las muestras originales, al comparar entre las formulaciones por cada tratamiento, los valores superiores ($p < 0.05$) se encuentran para la pasta F2 del T1 (pasta cruda-seca), para la actividad antioxidante medida por DPPH[•] y FRAP, al igual que la pasta F3 en ABTS^{•+}, mientras que para el T2 (pasta hervida) correspondió a la fórmula F3 con el ensayo ABTS^{•+} y FRAP, y para la F1 en el ensayo DPPH[•]. Entre los dos tratamientos aplicados para cada muestra, la mayor actividad antioxidante se encontró en el ensayo ABTS^{•+} para las 3 formulaciones después de la cocción, para DPPH[•] solo se encontraron diferencias en el T1 de la F2, por último, en el ensayo FRAP fue en las formulaciones F2 y F3, mientras que para el T2 en la pasta F3.

De los resultados de las muestras bioaccesibles, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con más actividad antioxidante en la formulación F3 medida por ABTS^{•+} y por DPPH[•]. Al comparar los tratamientos aplicados, fue el T1 con la pasta F3 en ABTS y en las tres formulaciones para DPPH. En las pastas hervidas no se registró actividad antioxidante por FRAP para las muestras bioaccesibles.

Tabla 13. Bioaccesibilidad de la actividad antioxidante de formulaciones de tallarines con polvo de grillo.

Análisis	Formulaciones de pasta						
	F1		F2		F3		
	Original	Bioaccesible	Original	Bioaccesible	Original	Bioaccesible	
ABTS ^{•+} ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$)	T1	34.72 \pm 0.33 ^c	5.51 \pm 0.60 ^c	36.19 \pm 0.32 ^b	31.18 \pm 2.32 ^{b*}	54.88 \pm 0.33 ^a	47.54 \pm 1.83 ^a
	T2	59.08 \pm 1.39 ^{c*}	16.41 \pm 1.64 ^{c*}	75.65 \pm 1.38 ^{b*}	22.59 \pm 2.18 ^b	87.11 \pm 1.31 ^{a*}	82.45 \pm 1.64 ^{a*}
DPPH [•] ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$)	T1	2445.79 \pm 14.49 ^b	370.91 \pm 10.52 ^{c*}	2691.20 \pm 19.47 ^{a*}	767.52 \pm 14.83 ^{b*}	2346.76 \pm 31.66 ^c	984.92 \pm 13.04 ^{a*}
	T2	2376.38 \pm 14.52 ^a	161.42 \pm 12.24 ^c	2227.50 \pm 10.30 ^c	725.31 \pm 8.93 ^b	2328.05 \pm 17.40 ^b	873.09 \pm 13.69 ^a
FRAP ($\mu\text{mol de Fe}^{+2}/100\text{ g}$)	T1	19.32 \pm 0.68 ^{c*}	nd	32.89 \pm 0.47 ^{a*}	nd	26.82 \pm 0.58 ^b	nd
	T2	15.47 \pm 0.82 ^c	nd	21.24 \pm 0.73 ^b	nd	28.78 \pm 0.66 ^{a*}	nd

Se muestra promedio \pm desviación estándar. ^{a-c} Letras superíndices diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las formulaciones de pasta. * Indica diferencia significativa entre la pasta cruda-seca y la pasta hervida. F1: Fórmula 1 con 7% de polvo de grillo, F2: Fórmula 2 con 11% de polvo de grillo, F3: Fórmula 3 con 16% de polvo de grillo, T1: Pasta cruda-seca y T2: Pasta hervida. Resultado no detectado se expresa como: nd.

VIII. Discusión

8.1 Composición nutricional y calidad de las formulaciones de tallarines de grillo.

8.1.1 Análisis químico proximal

La humedad de las pastas crudas-secas (T1) después del proceso de deshidratado, presentó porcentajes similares (8.52 – 9.18%) a lo indicado para formulaciones de pastas de sémola de trigo con sustitución de harina de chontaduro y quinua con 7.58 a 9.06% (83), pero inferiores a los reportados para 3 pastas tipo espagueti de sémola de trigo, con incorporación de harinas obtenidas de 3 especies de frijol *Phaseolus vulgaris*, *Vigna sinensis* y *Cajanus cajan*, con porcentajes de humedad entre 2.01 - 13.20 (58). Para que un producto se pueda considerar como pasta seca, su contenido de humedad puede ser de 12.5% máximo (32), sin embargo, se deberá de adaptar a las normas de cada país, en México, de acuerdo con la norma mexicana NOM-F-23-S-1980-Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades, se establece que las pastas deben de poseer máximo un 9% de humedad (26). Por lo anterior, la pasta de la formulación F1 cumple con este requisito, mientras que la F2 y F3 se encuentran en el límite con 9.18 y 9.10% respectivamente (Tabla 7). Este parámetro en las pastas es determinante para una adecuada ganancia de volumen y peso durante la cocción, por lo cual mejoran las características sensoriales (84), y al considerarse un producto seco tiene un periodo mayor de conservación al tener un crecimiento microbiano retardado (38).

Con respecto a las pastas hervidas (T2) hubo un aumento en la humedad, en especial la F1 (71.20%), esta ganancia se origina por el gluten presente en la harina de trigo, que tiene la capacidad de hidratarse en temperaturas cercanas a los 100°C, por lo que a mayor sustitución de harina de trigo menor es la humedad (85). El incremento de humedad de las formulaciones de pasta con polvo de grillo, después de la cocción fue similar a la de pastas de trigo adicionadas con un probiótico con valores de 63.11 - 68.71% en la pasta cocida (86), pero inferior en comparación con el porcentaje de humedad reportado para pasta de sémola de trigo cocida de (77.70%) (87). Por lo que la incorporación de polvo de grillo disminuyó ligeramente la ganancia de humedad, que puede atribuirse a una menor cantidad de almidón proveniente de la harina de trigo (88).

Respecto a la cantidad de proteína, las tres muestras crudas-secas se encontraron en un intervalo de 17.74 a 27.53%, este se relaciona directamente con la incorporación de polvo de grillo como se evidencia en la pasta F3, que fue la de mayor sustitución y contenido de este macronutriente (tabla 7). Las pastas elaboradas en este trabajo, tuvieron mayor porcentaje en comparación con el de pastas adicionadas con chontaduro y quinua con 12.19 y 15.68% respectivamente, a pesar de una sustitución mayor de hasta 50% en su formulación (83). Se ha indicado que una pasta cruda seca elaborada con sémola de trigo, agua y sal, puede alcanzar de 12 a 13% de proteína, y no tener todos los aminoácidos esenciales, porque la sémola es deficiente en lisina y treonina (32), mientras que los productos realizados en este proyecto, poseen más proteína debido al polvo de grillo (69%) y el huevo (13%) que se caracterizan por su aporte de proteína de alto valor biológico, al tener todos los aminoácidos esenciales (histidina, leucina, isoleucina, lisina, metionina, treonina, valina, triptófano y fenilalanina) (89,90), y después de la cocción (T2) la proteína disminuyó obteniendo valores entre las formulaciones de 7.09 - 13.42%, de los cuales resalta nuevamente la F3, donde la disminución de proteínas puede deberse a que durante el hervido el aumento de humedad diluye los macronutrientes, y el contenido de proteínas puede reducirse hasta en un 50% (91).

Los resultados obtenidos en este proyecto para pastas hervidas, son superiores a los reportados para pastas de sémola de trigo cocidas con 4 a 4.7% de proteínas (32), y similares a una pasta rellena con queso con 9.5% de proteína (32). Por el aporte superior de proteínas, 100 gramos de las formulaciones de pasta con polvo de grillo hervidas pueden ayudar a los adultos y adultos mayores a cubrir del 14 al 26% y del 9 al 17% respectivamente de los requerimientos nutrimentales diarios, que para adultos son de aproximadamente 50 g/día y para adultos mayores aumentan hasta 75 g/día (92,93), además puede ser de utilidad para quienes requieran mayor cantidad y calidad de este macronutriente, debido a que una porción de 60 g de pasta de trigo cocida aporta solamente 3.2 g de proteína (2), mientras que la misma porción de 60 g los tallarines hervidos de polvo de grillo aportan entre 4.25 a 8.05 g.

El contenido de lípidos en las formulaciones de pasta cruda-seca (35.33% - 40.95%), se relacionan con la cantidad utilizada de huevo en la elaboración de los tallarines (ver tabla 7), ingrediente que tiene 10.24% de lípidos (94), un aumento similar en el contenido de este macronutriente se encontró al comparar dos pastas, una de trigo (4% de lípidos) y otra con

adición de 5.5% de aguacate liofilizado (10% de lípidos) (95). El proceso de cocción provocó la disminución del contenido lipídico en un 69.94% a 81.08%, que puede estar ocasionado por la ganancia de agua durante la cocción, que diluye los macronutrientes, entre ellos los lípidos (91). Los tallarines de polvo de grillo tuvieron valores mayores, al compararla con una pasta de sémola de trigo rellena con queso (5.1%) (32). La pasta simple (pasta de sémola de trigo con agua) es un alimento con poco aporte lipídico, una porción de 60 g contiene 1.1 g (2), a diferencia de la pasta compuesta realizada en este proyecto que en la misma porción tiene de 4.59 a 6.37 g y puede cubrir del 10 al 14% del requerimiento diario de un adulto. Al contener huevo y polvo de grillo, puede aportar ácidos grasos saturados e insaturados como ácido palmítico, linoleico y oleico (32,96,97), que tienen diversos efectos en la salud; como el consumo de ácido palmítico, que cuando es acompañado de un estilo de vida saludable participa en diversas funciones biológicas (98); el ácido linoleico, al que se le atribuye la reducción de los niveles de colesterol en sangre, en especial de colesterol LDL (por sus siglas en inglés) (99), y el ácido oleico, que se ha relacionado con baja prevalencia de aterosclerosis, aumento de la lipólisis en tejido adiposo y disminución del apetito (100). Además, el huevo también aporta colesterol, del que su consumo debe realizarse con moderación, junto con una dieta saludable para evitar efectos adversos a la salud (101), y la lecitina presente en la yema, que se ha relacionado con la inhibición de la absorción intestinal de colesterol en animales de experimentación (96).

La concentración de ceniza tiene relación con los ingredientes extras de las pastas, aquellas con una mayor incorporación de polvo de grillo, poseen mayor concentración de cenizas. Los resultados de ceniza (1.40 a 1.95%), fueron similares a un estudio en donde se elaboraron espaguetis adicionados con harina de plátano entre el 15 y 45% con valores de 1.49 a 1.83% (102), y también a 4 formulaciones de pastas con 15% de sustitución de polvo de lenteja (1.8%), de frijol (1.9%), de chapulines *Locusta migratoria* (1.9%) y de gusano de la harina *Tenebrio molitor* (2.2%) (103), pero inferiores al compararlos con una pasta elaborada utilizando sémola de trigo y aguacate liofilizado con 3%. Estas diferencias se relacionan con la materia prima utilizada, la sémola de trigo contiene más cenizas (1.05%) en comparación con la harina de trigo común (0.86%) (95). Por sus ingredientes se puede atribuir la presencia de minerales como hierro, zinc, yodo, selenio, potasio, fósforo, calcio y magnesio (32,90), por lo que el consumo de los tallarines elaborados en este trabajo podría ayudar a cubrir el

requerimiento de estos micronutrientes, y obtener los beneficios que aportan por la diversidad de funciones biológicas en las que intervienen; como el hierro, que es necesario para la producción de hemoglobina y prevenir la anemia ferropénica (104); el zinc participa en la producción de linfocitos, en la síntesis de proteínas y en la síntesis y liberación de insulina (105), regula el estado inflamatorio crónico, reduce el estrés oxidativo y es catalizador de enzimas (106); el yodo se requiere para el funcionamiento de la glándula tiroidea y para el correcto crecimiento y desarrollo físico (107); el selenio es un antioxidante que ayuda en la prevención de enfermedades, en la inmunidad y en la regulación de hormonas tiroideas (108,109); el potasio participa en la contracción del músculo cardíaco y en mantener el balance hídrico (110); el fósforo está presente en la estructura de los huesos, fosfolípidos y tejido conjuntivo (111), y el magnesio es necesario en el sistema nervioso y en la secreción de bilis (112).

La pasta elaborada únicamente con sémola de trigo, como se ha mencionado, puede carecer de una diversidad de nutrientes, como la fibra dietética (85). En este trabajo los porcentajes (6.25 - 7.08%) para las pastas deshidratadas fueron superiores a los de una pasta con harina de pimiento amarillo con fibra dietética total de 5.4% (113). Por la composición de las pastas elaboradas en este proyecto, el incremento de fibra se debe al polvo de grillo, ingrediente que posee 9.6% (114). En un estudio en el que compararon el contenido de fibra total de 4 formulaciones de pastas con 15% de sustitución con polvo de lenteja (0.8%), de frijol (1.5%), de chapulín *Locusta migratoria* (2.2%) o de gusano de la harina *Tenebrio molitor* (1.7%), ocasionó un mayor contenido, debido al uso de polvos de insectos con mayor aporte de fibra proveniente de la estructura de los insectos (103). Se ha observado que mayores porcentajes de sustitución de harina de trigo por alimentos que son fuente de fibra dietética, ocasiona un aumento de este componente en la pasta cocida. Similar a una investigación en la que analizaron 4 formulaciones de pastas adicionadas con fibra dietética proveniente de 2 tipos de almidón resistente, salvado de avena e inulina, las pastas presentaron mayores porcentajes de fibra (6.4 a 14.3%) cuando la adición de almidón o salvado de avena fue mayor, en el caso de la pasta adicionada con inulina, después de la cocción ya no se reportó fibra, porque se lixivió en el agua de cocción (115). En una porción de 60 g de pasta de trigo cocida no se reportó contenido de fibra dietética (2), a diferencia de la porción de tallarines de polvo de grillo realizados en este trabajo, que aportan entre 1.57 a 1.98 g, que ayuda a

cubrir del 5 al 6% del requerimiento para una persona adulta, este aporte se atribuye a la adición de grillo. Este insecto tiene fibra insoluble en su exoesqueleto en forma de quitina (5.1%) (116), que se puede considerar como prebiótico porque se ha relacionado con efectos benéficos en la microbiota intestinal con el aumento de los probióticos y la inhibición del crecimiento bacteriano, además ayuda en la absorción de lípidos a nivel intestinal (34,117).

Respecto a los carbohidratos, la pasta F1 fue la de mayor porcentaje, sin embargo, es menor que el de pastas elaboradas únicamente con sémola de trigo y agua (76%) (32,87). Un menor contenido de carbohidratos, al añadir un ingrediente extra a la formulación, también se observó en un estudio donde elaboraron dos pastas, una de sémola de trigo y otra con 10% de harina de alga espirulina, al compararlas, destaca el cambio en su porcentaje de 76.65% a 46.21% a causa de la sustitución (31). En comparación, las pastas después de la cocción presentan valores menores de carbohidratos, ocasionado por una disolución del almidón en el agua de cocción (118). Una porción de 60 g de pasta de trigo aporta 14 g de este macronutriente (2), mientras que los tallarines de polvo de grillo contienen de 6.52 a 9 g en la misma cantidad de alimento, por lo que se puede considerar como una opción para las personas que requieran limitar su consumo de carbohidratos simples, debido a que únicamente cubre del 2 al 3% del requerimiento diario de este macronutriente.

Como se describió anteriormente, la elaboración de pastas de trigo con la incorporación de un ingrediente extra como el polvo de grillo, aumenta su valor nutricional al aportar aminoácidos esenciales, ácidos grasos, minerales y fibra dietética.

8.1.2 Pruebas de calidad de cocción y propiedades funcionales

El tiempo óptimo de cocción aumentó para las formulaciones de pasta con polvo de grillo cuando el porcentaje de sustitución fue mayor, hasta alcanzar un máximo de 15.12 minutos (F3), siendo un tiempo mayor al que se requiere para pastas elaboradas únicamente con harina de trigo que es entre 10 a 12 minutos (57). Sin embargo, la incorporación de más ingredientes a la formulación de pasta eleva el tiempo que se requiere, como una pasta incorporada con harina de quinoa, huevo y zanahoria, donde requirió de 25 minutos de tiempo óptimo de cocción (119). Esto puede deberse a que, en las pastas compuestas, la disminución de la harina de trigo dificulta la gelatinización del almidón y la formación del gluten, por lo que mayores niveles de sustitución provocan que el tiempo de cocción se prolongue (120).

Las formulaciones de tallarines tuvieron menor porcentaje de hinchamiento en pastas con mayor incorporación de polvo de grillo. Estos resultados son similares a los de las pastas con diferentes porcentajes de sustitución de harina de amaranto, con valores de 1.8 a 2.0% (121). Esto puede deberse a que a mayor sustitución de harinas que no aportan almidón, menor es la cantidad de gránulos de almidón que son los que absorben agua durante un tratamiento térmico, como el hervido (122).

En los tallarines elaborados en este trabajo los porcentajes de pérdida de sólidos fueron menores en las formulaciones con mayor incorporación de polvo de grillo (tabla 6 y 7), pero estos valores son aceptables, ya que se ha establecido que las pastas deben tener máximo 9% de pérdida de sólidos para considerar que tiene un buen rendimiento (123). Comparando las pastas realizadas, las formulaciones F1 y F2, son similares a las de un estudio en el que se elaboraron pastas libres de gluten, utilizando harina de maíz sometidas a diferentes temperaturas de secado (30 y 50 °C) y presentaron pérdidas de 6.9 y 8.2% respectivamente (124). Se ha indicado que cuando se aplica un tratamiento de secado disminuyen las pérdidas por cocción, ocasionado por la formación de una red proteica que impide el paso de amilosa, polisacáridos y proteínas solubles al agua de cocción (124). También un mayor contenido de proteína influye en la reducción del porcentaje de pérdida, que puede estar ocasionado por la capacidad de las proteínas de crear una red que impide la salida de sólidos al medio de cocción (125).

Por otro lado, la capacidad de absorción de agua y de aceite en las formulaciones de tallarines crudos-secos (T1) de polvo de grillo en este estudio fue menor al compararlas con pastas con sustitución del 20 al 40% de harina de chufa con valores en un rango de 1.09 - 1.12 g/g y de 1.19 - 1.30 g/g respectivamente (88). Esta menor absorción de agua puede atribuirse a un menor contenido de almidón y a la presencia de carbohidratos hidrofóbicos (126), como la quitina, que se encuentra en el polvo de grillo (116). Mientras que la capacidad de absorción de aceite se atribuye a estructuras hidrofóbicas de sus proteínas por sus cadenas laterales de aminoácidos no polares (glicina, alanina, valina, leucina, metionina e isoleucina), que les permiten formar interacciones con cadenas de hidrocarburos de lípidos (127). Esta característica influye en la aceptación de los productos, al retener compuestos lipídicos que dan el sabor y resultan agradables al paladar (128), además de estar relacionado con la

capacidad de la fibra insoluble, como la quitina, de unirse al colesterol y evitar su absorción intestinal, excretándose en las heces (129). Después de la cocción (T2), el aumento de la capacidad de retención de agua en las muestras estudiadas podría estar relacionado con el efecto del tratamiento térmico, el cual provoca la gelatinización del almidón (130), que se puede ver reflejado en el aumento del porcentaje de humedad (tabla 7).

En las pastas de polvo de grillo, solo se presentó la capacidad de retener glucosa después de la cocción, en un rango de 15.35 a 17.04%. Esto se puede atribuir a la capacidad de la fibra (soluble) del grillo de unir moléculas de glucosa (131), y que después de que el alimento es sometido a un tratamiento térmico como el hervido hay un aumento de fibra soluble (132), viscosidad y polisacáridos fermentables, que impiden que se absorba la glucosa durante la digestión intestinal (133). Esta propiedad en las pastas hervidas puede resultar útil para personas que requieran controlar sus niveles de glucosa en sangre.

8.1.3 Microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de energía dispersa

En los tallarines de polvo de grillo se presentaron cambios en la estructura después de la cocción, fueron principalmente en el almidón, similar a lo que se reporta para micrografías de pastas con chía y harina desengrasada de chía, en las cuales la cocción ocasionó la hidratación y el hinchamiento de los gránulos de almidón que cambia la estructura de la superficie (126). Mientras que en las pastas crudas-secas es más común que se presenten estructuras compactas de gránulos de almidón (134).

En las pastas realizadas en este estudio después de la cocción, aún se distinguen formas ovaladas que pueden ser de almidón, algo similar se distingue en un estudio donde elaboraron pasta de sémola de trigo con adición de carne en la formulación, en donde después de la cocción, aún se encontraron formas ovaladas que corresponden al almidón, y que puede deberse a una gelatinización deficiente relacionado con la incorporación de un ingrediente diferente al trigo (135).

En los tallarines con polvo de grillo se identificaron los minerales fósforo, potasio, magnesio y hierro, la presencia de estos minerales puede deberse a que en el polvo de grillo de la especie *Acheta domesticus*, destaca por su contenido de fósforo (899 mg/100 g), seguido de potasio (389 mg/100 g), calcio (149 mg/100g) y magnesio (136 mg/100 g) y en menor

proporción zinc (19.6 mg/100 g), hierro (8 mg/ 100 g), cobre (4 mg/100 g) y manganeso (4 mg/100 g) (136). En los tallarines realizados, el contenido de potasio y fósforo fue similar al de espaguetis de sémola de trigo, como en un estudio donde analizaron el contenido de estos minerales por espectroscopía de energía dispersa y reportaron una concentración estimada de 0.1 a 0.25% (peso atómico) (137).

8.1.4 Índice de refracción

El índice de refracción se cuantificó en el aceite extraído de los tallarines crudos-secos, y en la F1 fue similar con el del aceite de coco (138), la F2 con los de sebo de cordero (139), sebo de res (140) y manteca de cacao (141), mientras que para la F3 fue con los de aceite de cacahuate (142) y sebo de caballo (143). De acuerdo con la composición de ácidos grasos de los aceites antes mencionados (ver tabla de anexos), y por su similitud en el índice de refracción, los aceites extraídos de las pastas crudas-secas de polvo de grillo podrían tener ácidos grasos saturados como el ácido láurico (0.1 a 38.4%), mirístico (0.7 a 20.2%), palmítico (9.5 a 27.4%), esteárico (2.5 a 36.15%); monoinsaturados como el ácido oleico (15.5 a 52.20%) y poliinsaturados como ácido linoleico (2.5 a 22.4%), α -linolénico (0.15 a 0.3%) y araquidónico (0.2 a 4.35%) (138–143). En un estudio, cuantifican los ácidos grasos de una pasta con harina de trigo la cual se compone principalmente de ácidos grasos poliinsaturados, se reportó un mayor contenido de ácido linoleico (38.62%), seguido de ácido grasos saturados, como el palmítico (17.80%), esteárico (0.85%) y behénico (0.18%), y en menor cantidad ácidos grasos monoinsaturados como oleico (14.35%) (144). Por lo anterior, las pastas con polvo de grillo elaboradas en este estudio, en comparación con una pasta tradicional, podrían presentar mayor diversidad de ácidos grasos, estos cambios en la composición lipídica traen beneficios en la salud, por ejemplo, el ácido linoleico tiene una asociación con un menor riesgo de mortalidad por eventos cardiovasculares y cáncer (145), además, junto con el α -linolénico se consideran precursores de moléculas de señalización de lípidos y de otros ácidos como el ácido araquidónico, el cual es necesario durante el desarrollo, crecimiento y daños o lesiones celulares (146,147), el ácido esteárico tiene efectos antiinflamatorios, antioxidantes y antifibróticos (148), el ácido láurico proveniente de los insectos con actividad antimicrobiana y antiinfeccioso (149) y el ácido oleico, del cual su

consumo se ha relacionado con efectos benéficos sobre la composición corporal al prevenir la obesidad por un derivado (oleiletanolamida) que reduce el apetito (150).

Después de la cocción (pasta hervida), el índice de refracción en la formulación F1 fue similar al aceite de oliva y aceite de cacahuate, que reportaron ácidos grasos, mayoritariamente ácido palmítico (9.5 a 26.5%), oleico (32.4 a 35.1%) y linoleico (13.3 a 22.4%) (142). Mientras que el índice de refracción del aceite de las pastas F2 y F3 presentaron relación con el de aceite de cacahuate y sebo de caballo, que tienen ácidos grasos saturados como el palmítico (20.5 a 26.5%), esteárico (2.9 a 3.61%), monoinsaturados como el ácido oleico (32.4 a 52.20%) y poliinsaturados como ácido linoleico (5.10 a 13.3%). (142,143) El consumo de una porción de tallarines de polvo de grillo, puede llegar a cubrir del 4.36 al 5.52% de la ingesta diaria recomendada para ácidos grasos monoinsaturados, del 3.54 al 5% de los poliinsaturados y del 5.48 al 6.04% de saturados, y dependiendo de la preparación para su consumo, este contenido puede incrementarse, por lo que es recomendable incorporarlo en una dieta equilibrada.

8.1.5 Colorimetría

La determinación instrumental de color en un alimento, se relaciona con la calidad visual (151) y permite identificar las diferencias de color por la incorporación de ingredientes que no se encuentran en la formulación original (152). Las formulaciones de tallarines de polvo de grillo, con valores negativos en la coordenada del color a^* y positivos de b^* , indica que los tallarines realizados presentan coloración amarillo-verde. Comparado con los de pasta cruda de trigo comercial, la cual tiene un color amarillo claro y luminosidad de 70 y en la coordenada b^* un valor de 9.6, esto debido a sus ingredientes como el huevo y la sémola (153). En los tallarines de grillo realizados en este trabajo, una reducción de luminosidad ocurrió cuando el porcentaje de incorporación de polvo de grillo fue mayor (tabla 6), este resultado fue similar a un estudio en una pasta donde se le incorporó harina de chufa, mostrando un color marrón oscuro, una disminución en luminosidad y en b^* (134), debido a que las harinas más oscuras tienen una menor emisión de luz (154). Como en pastas con polvos de lenteja, frijol, chapulines (*Locusta migratoria*) y gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), que presentaron cambios en el color, con reducción de la luminosidad (L^*) y el color amarillo (b^*) (103). En otro estudio, se reportó que en barras proteicas con frutos secos

que tenían adición de polvo de grillo, se determinó que a mayor porcentaje de polvo de grillo menor es la luminosidad, pero no se modificaron los valores de pureza del color (C^*) y tono (H^*) (155).

Los atributos de color de los tallarines con polvo de grillo después de la cocción (T2), mostraron similitud con los reportados para pastas de sémola de trigo con incorporación de una mezcla de carne de res, que tuvo valores de luminosidad en la pasta cocida de 56.60 a 60.40, de a^* de -0.30 a -1.40 y de b^* de 9.60 a 12.30 (135). Comportamiento similar al de pastas de trigo con adición de semillas de chía y de harina de chía desengrasada, donde después de la cocción, los valores de L^* y de b^* fueron menores (126). En pastas libres de gluten utilizando harina de maíz hubo cambios en el valor de luminosidad después de la cocción de la pasta (de 80 en la pasta cruda a 74 en la pasta cocida) (124). Esta disminución en la luminosidad podría estar ocasionado por un pardeamiento después de la cocción por reacciones de Maillard (156).

Por otra parte, se ha indicado que el color amarillo en las pastas es más agradable y mejora su aceptación (157), y es el valor de b^* , el que indica esta coloración amarilla, la cual aumenta con el contenido de huevo (124). Sin embargo, los colores marrones se han asociado con pastas ricas en fibra dietética y con sus beneficios a la salud (158). Y el color de los tallarines, también podría estar asociado a las características nutrimentales que le otorga el polvo de grillo.

8.1.6 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de los tallarines de polvo de grillo presentó mayor aceptación en la formulación con menor porcentaje de sustitución de polvo de grillo (7%), este comportamiento fue similar a un estudio para una pasta con diferentes porcentajes de sustitución (0, 10, 20, 30, 40 y 50) de harina de trigo por harina de lupino, en la cual tuvieron una disminución de todos los parámetros de la evaluación sensorial conforme aumentó la sustitución (159). En otro estudio realizaron 4 pastas diferentes con la integración de harinas de lenteja, frijol, chapulín (*Locusta migratoria*) y gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), se evidenció que la adición de insectos comestibles afecta principalmente los atributos de color y olor, donde las diferencias fueron menores en los atributos de sabor y aceptación general

(103), estos resultados fueron similares a la evaluación de las pastas con polvo de grillo elaborada en este trabajo.

Por otro lado, en un estudio se realizó una evaluación sensorial de polvo de grillo *Acheta domesticus* donde participaron 102 personas, y a través de un cuestionario se registró su percepción antes y después del consumo. Cabe mencionar que antes de la ingesta, los encuestados consideraban que el consumo de insectos era repugnante y fuente de enfermedades infecciosas, por lo que mencionaron que no los consumirían, a pesar de aceptar que son nutritivos. Sin embargo, después de consumir el polvo de insectos por primera vez integrado en un batido, el rechazo disminuyó, además los participantes se mostraron más dispuestos a usar el polvo de grillo o recomendarlo (160), por lo que el consumo de insectos en polvo incorporados en un alimento familiar mejora su aceptación y permite obtener sus beneficios nutrimentales.

8.2 Bioaccesibilidad de la actividad antioxidante de los de tallarines de grillo después de la cocción

8.2.1 Actividad antioxidante (ABTS^{•+}, DPPH[•], FRAP) de tallarines de grillo

La actividad antioxidante de las formulaciones de tallarines de polvo de grillo crudas-secas, tuvieron mayor actividad por el método de ABTS^{•+} y también por el método DPPH[•] en comparación con pasta de sémola de trigo cruda, con valores de 8.50 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ y 0.94 a 2.32 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ respectivamente (161,162); y también para actividad medida por el método FRAP, en comparación con una pasta de sémola de trigo con huevo con 10.26 $\mu\text{mol FeSO}_4/100\text{ g}$.

En los tallarines hervidos, el tratamiento térmico provocó un aumento de la actividad antioxidante medida por ABTS^{•+}, similar a una pasta de sémola con salvado de trigo, debido a que la cocción en agua (hervido), provocó una mayor extracción de compuestos fenólicos de la matriz alimentaria (163). Con respecto a la actividad medida por DPPH[•], disminuyó en las pastas hervidas probablemente por el método de cocción utilizado, ya que el hervido puede ocasionar la degradación térmica o lixiviación de compuestos lo cual reduce la actividad antioxidante (164). Por lo anterior, las formulaciones de tallarines F3 crudas-secas y hervidas presentaron los valores mayores para actividad antioxidante medida por los

métodos de ABTS^{•+}, DPPH[•] y FRAP, esto puede estar relacionado con una mayor incorporación del ingrediente extra a la mezcla, que dependiendo del alimento mejora la actividad antioxidante del producto final (164). Las formulaciones de tallarines realizados en el presente trabajo, posiblemente su mayor actividad antioxidante fue por la adición de polvo de grillo de la especie *Acheta domesticus*. Se ha identificado actividad antioxidante en este insecto comestible (extracción acuosa) por los métodos ABTS^{•+} (8.8 $\mu\text{mol ET/mg}$), DPPH[•] (19.5%) y FRAP (12.1 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{mg}$) (165), y también en el polvo de grillo de la misma especie con una actividad antioxidante para inhibir el radical DPPH[•] cercana al 80% (166). Esto se atribuye al contenido de aminoácidos que son considerados antioxidantes por sus propiedades quelantes y su capacidad de convertir hidroperóxidos en derivados hidroxílicos inactivos (165,167).

Por la actividad antioxidante en las formulaciones de pasta hervida, se puede recomendar su consumo para prevenir enfermedades como cáncer, enfermedades del corazón y del cerebro, que pueden ser causadas por radicales libres y especies reactivas de oxígeno que se generan en el cuerpo (168).

8.2.2 Actividad antioxidante (ABTS^{•+}, DPPH[•], FRAP) de fracción bioaccesible de tallarines de grillo

En las pastas realizadas en este trabajo con polvo de grillo, después de la simulación del proceso de digestión *in vitro*, disminuyó la actividad antioxidante medida por la inhibición de los radicales ABTS^{•+} y DPPH[•]. Similar comportamiento al presente trabajo fue encontrado en una pasta cocida de sémola de trigo con adición de harina de garbanzo y de chía, con una menor actividad antioxidante medida por ABTS y DPPH, después de la absorción (de 781.43 – 800.67 a 655.10 – 703.40 $\mu\text{mol TE/g}$ y de 367.00 – 388.21 a <150 $\mu\text{mol TE/g}$ respectivamente) (169). En una especie de grillo (*Gryllodes sigillatus*) después de aplicar un proceso de digestión y absorción, reportaron menor actividad antioxidante de los insectos crudos y hervidos medida por ABTS^{•+} de 21.90 a 15.20 $\text{IC}_{50} \mu\text{g/mL}$ y de 21.80 a 12.60 $\text{IC}_{50} \mu\text{g/mL}$ respectivamente, y para DPPH[•] de 29.45 a 12.35 $\text{IC}_{50} \mu\text{g/mL}$ y de 40.30 a 11.85 $\text{IC}_{50} \mu\text{g/mL}$, respectivamente (168). Una menor actividad antioxidante, puede deberse a cambios en la estructura química y solubilidad de los compuestos fenólicos y flavonoides, o por su interacción con otros compuestos durante la digestión (170).

Por el método FRAP, no se registró actividad antioxidante después de la prueba *in vitro*. Contrario a un estudio, pero en una pasta enriquecida con 1 a 5% de fibra de zanahoria, en donde la actividad antioxidante medida por FRAP, se redujo de un rango de 90 - 180 EC₅₀ mg DM/mL a 30 – 50 EC₅₀ mg DM/mL después de una prueba de digestión (171). Por otro lado, en leche de soya de diferentes variedades, relacionaron los cambios de la actividad antioxidante medida por FRAP (59.68 – 366.49 a 36.50 – 138.99 μmol/L) con la disminución del contenido fenólico (de 59.28 – 173.04 a 24.37 – 43.68 mg/100 mL), debido a que estos compuestos pueden presentar cambios estructurales y en sus propiedades al estar en un pH alcalino (172). También, diversos autores han reportado que alimentos con alto contenido proteico tienen menor capacidad de reducir el ion Fe⁺³ (173–175).

En los tallarines de polvo de grillo, después del proceso de cocción y de la simulación *in vitro*, aún se detecta actividad antioxidante por los métodos ABTS^{•+} y DPPH[•], por lo que su consumo podría tener un efecto benéfico en la prevención de enfermedades ocasionadas por los radicales libres, como la diabetes, hipertensión arterial, cáncer o enfermedades neurodegenerativas como parkinson, alzheimer o Huntington (176). Sin embargo, las formulaciones de tallarines hervidos de polvo de grillo tienen menor actividad antioxidante, en comparación con frutos como la guayaba *Psidium araca* o la fresa *Fragaria ananassa* con valores para DPPH de 1177.89 μmol ET/ 100 g y 3246 μmol ET/ 100 g y para ABTS de 6679.92 μmol ET/ 100 g y 8604 μmol ET/ 100 g respectivamente (177,178), por lo que se recomienda consumir como parte de una dieta variada y equilibrada para que en conjunto con otros alimentos se tenga un consumo adecuado de antioxidantes y se obtengan sus beneficios.

IX. Conclusiones

1. La mejor formulación de pasta de forma de tallarines con polvo de grillo, harina de trigo y huevo fresco, antes y después de la cocción fue la F3, debido a que tuvo mayor incremento en su composición nutrimental (proteína, lípidos, ceniza y fibra dietética), características fisicoquímicas (índice de refracción que indica probable presencia de ácido palmítico, linoleico y oleico y capacidad de retención de glucosa) y rendimiento después de la cocción (menor pérdida de sólidos).
2. La comparación de las tres formulaciones de tallarines mediante microscopía electrónica de barrido presentó cambios en su estructura, pero no en el contenido de los minerales fósforo, potasio, magnesio y hierro antes y después de la cocción.
3. La evaluación sensorial de las pastas hervidas en forma de tallarín con polvo de grillo indicó que la de mayor aceptación fue a una concentración de 7% (F1), seguida de la de 17% (F3).
4. En las tres formulaciones de pastas en forma de tallarines de polvo de grillo se presentaron actividad antioxidante, medida por los métodos ABTS \bullet^+ y DPPH \bullet , antes y después de la cocción (54.88 a 87.11 $\mu\text{g ET/ 100 g}$ y de 2346.76 a 2328.05 $\mu\text{g ET/ 100 g}$ respectivamente) y de la bioaccesibilidad *in vitro*, con mayores valores es para la F3 (47.54 a 82.45 $\mu\text{g ET/ 100 g}$ y de 984.92 a 873.09 $\mu\text{g ET/ 100 g}$ respectivamente). Lo que hace a la pasta una fuente de antioxidantes, que con su consumo puede contribuir a la prevención de enfermedades.

X. Recomendaciones

La elaboración del presente estudio permitió conocer características nutrimentales y de calidad de la pasta, además de identificar la actividad antioxidante. Sin embargo, se requiere de más investigación para poder conocer todos los beneficios a la salud por su consumo. Con relación a lo anterior, se enlistan acciones para aumentar el conocimiento referente a la pasta de polvo de grillo.

- Determinar los compuestos antioxidantes en la pasta con polvo de grillo, y su comportamiento después de la cocción.
- Realizar identificación y cuantificación de aminoácidos, ácidos grasos y minerales de las diferentes formulaciones de pasta.
- Emplear distintas formas de elaboración de pasta, con diferentes condiciones de temperatura y tiempo, comparando cuál es la que mantiene mejor sus características nutrimentales y de calidad.
- Cuantificar el contenido de fibra soluble e insoluble de las formulaciones de tallarines.
- Realizar pruebas de vida útil o caducidad.

XI. Referencias

1. Shamah T, Vielma E, Heredia O, Romero M, Mojica J, Cuevas L, et al. Encuesta nacional de salud y nutrición 2018-19: Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública; 2020.
2. Pérez A, Palacios B, Castro A, Flores I. Sistema mexicano de alimentos equivalentes. 4th ed. México: Fomento de Nutrición y Salud; 2014.
3. Cruz M. 13% de mexicanos comen pasta una vez a la semana. Kantar Worldpanel. 2018.
4. Darquea-Bustillos E. Patrones de uso de insectos en dos mercados del distrito metropolitano de Quito, Ecuador. *Ethnoscintia*. 2018;3.
5. Murefu TR, Macheke L, Musundire R, Manditsera FA. Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control*. 2019;101:209–224.
6. Meticulous Research. Edible insects market by product (whole insect, insect powder, insect meal, insect oil) insect type (crickets, black soldier fly, mealworms), application (animal feed, protein bar and shakes, bakery, confectionery, beverages) - Global Forecast to 2030. India: Meticulous Market Research; 2019.
7. Pulido V, González C, Tapia Y, Celis X. Insectos: Recursos del pasado que podrían ser una solución nutricional para el futuro. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 2020;24(2):81–100.
8. Kouřimská L, Adámková A. Nutritional and sensory quality of edible insects. *Nutrition & Food Science Journal*. 2016;4:22–26.
9. Halloran A, Vantomme P. La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013.
10. Pino-Moreno JM, Guerrero-Mayorga I, Flores-Ramírez ME, Galán-Ángeles Y, Hidalgo A. Presencia de los insectos comestibles en la muestra gastronómica de Santiago de Anaya, Hidalgo. *Entomología mexicana*. 2017;4:663–668.
11. Shockley M, Lesnik J, Allen RN, Muñoz AF. Edible insects and their uses in north America: Past, present and future. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. 2018;
12. Marín Z. Elementos de nutrición humana. Costa Rica: Editorial de la Universidad Estatal a Distancia; 2014.
13. Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*. 2015;77:460–466.
14. Ramos-Elorduy J, Pino J, Morales J. Análisis químico proximal, vitaminas y nutrimentos inorgánicos de insectos consumidos en el estado de Hidalgo, México. *Folia Entomológica Mexicana*. 2002;41(1):15–29.
15. Ramos-Elorduy J, Pino J, Martínez V. Could grasshoppers be a nutritive meal? *Food and Nutrition Sciences*. 2012;3:164–175.

16. Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013;57(5):802–823.
17. Magara HJO, Niassy S, Ayieko MA, Mukundamago M, Egonyu JP, Tanga CM, et al. Edible crickets (*Orthoptera*) around the world: distribution, nutritional value, and other benefits—A review. *Frontiers in Nutrition*. 2021;7:1-23.
18. Strnadova B. Giant tobacco cricket (*Brachytrupes membranaceus*) [Internet]. Godofinsects.com; 2003 [Consultado 2 de mayo 2022]. Disponible en: <http://www.godofinsects.com/index.php/museum/grasshoppers-and-cricket/giant-tobacco-cricket-brachytrupes-membranaceus/>
19. Iowa State University Department of Entomology. *Gryllus assimilis* [Internet]. BugGuide.Net; 2018 [Consultado 2 de mayo 2022]. Disponible en: <https://bugguide.net/node/view/1561026>
20. Oscar. Grillo de campo africano *Gryllus bimaculatus* [Internet]. Macronatura. Sociedad Entomológica de Brasil; 2021.
21. Fernandez-Cassi X, Supeanu A, Vaga M, Jansson A, Boqvist S, Vagsholm I. The house cricket (*Acheta domestica*) as a novel food: a risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(2):137–157.
22. Gaua E. Cómo criar grillos, paso a paso. [Internet]. [Consultado 29 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.camaleones.es/alcomocriargrillos.htm>
23. Oppert B, Perkin L, Lorenzen M, Dossey A. Transcriptome analysis of life stages of the house cricket, *Acheta domestica*, to improve insect crop production. *Scientific Reports*. 2020;10(3471):1–13.
24. NOM-086-SSA1-1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. 1994.
25. Bonvecchio A, Fernández A, Plazas M, Kaufer M, Pérez A, Rivera J. Guías alimentarias y de actividad física en contexto de sobrepeso y obesidad en la población mexicana. México: Inter sistemas; 2015.
26. NOM-F-23-S-1980. Norma Oficial Mexicana NOM. F-23-S-1980, Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades. 1980.
27. Granito M, Torres A, Guerra M. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*. 2003;28(7):372–379.
28. Ambrogina M, Lucisano M, Mariotti M. Traditional italian products from wheat and other starchy flours. En: Hui Y, editor. *Handbook of Food Products Manufacturing: Principles, bakery, beverages, cereals, cheese, confectionary, fats, fruits and functional foods*. New Jersey: Wiley Interscience; 2007: 327–388.
29. Vega G. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 2009;13(38):27–32.
30. Zhou Z, Zhang Y, Chen X, Zhang M, Wang Z. Multi-scale structural and digestion properties of wheat starches with different amylose contents. *International Journal of Food Science and Technology*. 2014;49(12):2619–2627.

31. Torres A, Parra J, Rojas D, Fernández-Gómez R, Valero Y. Efecto de la suplementación de sémola de trigo con *Arthrospira platensis* sobre calidad, aceptabilidad y composición física y química de espaguetis. *Vitae*. 2014;21(2):81–9.
32. Gil A. Tomo II Composición y calidad nutritiva de los alimentos. En: Sánchez F, Fontana L, editores. *Tratado de nutrición*. México: Editorial Médica Panamericana; 2017: 177–228.
33. Villarroel C. *Elaboración y control de calidad de una sopa instantánea nutritiva a base de amaranto (Amaranthus spp)*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2012.
34. Stull V, Finer E, Bergmans R, Febvre H, Longhurst C, Manter D, et al. Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults, a double-blind, randomized crossover trial. *Scientific Reports*. 2018;8(1): 1-13.
35. Jungersen M, Wind A, Johansen E, Christensen J, Stuer-Lauridsen B, Eskesen D. The science behind the probiotic strain *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12®. *Microorganisms*. 2014;2(2):92–110.
36. Bergmans R, Nikodemova M, Stull V, Rapp A, Malecki K. Comparison of cricket diet with peanut-based and milk-based diets in the recovery from protein malnutrition in mice and the impact on growth, metabolism and immune function. *Public Library of Science One*. 2020;15(6).
37. Agbemaflé I, Hanson N, Bries A, Reddy M. Alternative protein and iron sources from edible insects but not *Solanum torvum* improved body composition and iron status in malnourished rats. *Nutrients*. 2019;11(10): 1-15.
38. Badui S. *Química de los alimentos*. México: Pearson; 2019.
39. Stone A, Tanaka T, Nickerson M. Protein quality and physicochemical properties of commercial cricket and mealworm powders. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56(7):3355–3363.
40. Melo-Ruiz V, Sandoval-Trujillo H, Quirino-Barreda T, Sánchez-Herrera K, Díaz-García R, Calvo-Carrillo C. Chemical composition and amino acids content of five species of edible grasshoppers from Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2015;27(8):654–658.
41. Vangsoe M, Thogersen R, Bertram H, Heckmann L, Hansen M. Ingestion of insect protein isolate enhances blood amino acid concentrations similar to soy protein in a human trial. *Nutrients*. 2018;10(10): 1-13.
42. Melo-Ruiz V, Cremieux J, Rodríguez-Diego J, Villoch A. Ganancia de peso, talla y sobrevivencia en *Crocodylus Moreletii* (*Crocodylia: Crocodylidae*) alimentados con extractos de tres tipos de insectos. *Revista de Salud Animal*. 2018;40(2):1-5.
43. Mishyna M, Chen J, Benjamin O. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods – Future outlooks for enhancing consumer appeal. *Trends in Food Science and Technology*. 2020;95:141–148.
44. Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez A, Salinas-Castro A. Edible insects processing: traditional and innovative technologies. *Institute of food Technologists*. 2019:1-27.

45. Pauter P, Róžańska M, Wiza P, Dworzak S, Grobelna N, Sarbak P, et al. Effects of the replacement of wheat flour with cricket powder on the characteristics of muffins. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2018;17(3):227–233.
46. Bawa M, Songsermpong S, Kaewtapee C, Chanput W. Nutritional, sensory, and texture quality of bread and cookie enriched with house cricket (*Acheta domesticus*) powder. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44(8):1–9.
47. Baéz V. Desarrollo de una salchicha más sostenible con sustitución de carne de res por harina de grillo (*Acheta domesticus*). Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; 2021.
48. Gricha - Proteína sustentable de grillo en México. [Internet]. [Consultado 12 abril 2021]. Disponible en: <https://www.gricha.com/>
49. Totopos de chapulín altos en proteína sustentable – Totolines by Entofoods. [Internet]. [Consultado 12 abril 2021]. Disponible en: <https://insectnutrition.mx/collections/vendors?q=Totolines>
50. Cazal conservas de autor. [Internet]. [Consultado 12 abril 2021]. Disponible en: <https://www.cazal.com.mx>
51. En grillo ¡Come grillos! [Internet]. [Consultado 12 abril 2021]. Disponible en: <https://insectnutrition.mx/collections/vendors?q=Engrillo>
52. Botanas con chapulín - winko. [Internet]. [Consultado 12 abril 2021]. Disponible en: <https://www.winko.com/>
53. Lugo J, Monroy M, Aguilar E. Aceptación del sabor de un snack saludable adicionado con harina de soya utilizando la prueba de umbral de detección. *Face*. 2019;19(2):16–26.
54. Fon F, Zumbado H. Análisis proximal en alimentos, fundamentos teóricos y técnicas experimentales. Ecuador: Colloquium: 2020.
55. Alburez M. Estudio comparativo del contenido de fibra dietética en avena y quinoa mediante dos métodos normalizados, como parámetro nutricional en la industria alimenticia. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala; 2019.
56. de Nijs M, van den Top H, de Stoppelaar J, Lopez P, Mol H. Fate of enniatins and deoxynivalenol during pasta cooking. *Food Chemistry*. 2016;213:763–767.
57. Criollo J, Edison E, Silverio C, Díaz R. Pruebas de cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo - almidón de banano. *Cumbres*. 2018;4(1): 63-73.
58. Granito M, Pérez S, Valero Y. Calidad de cocción, aceptabilidad e índice glicémico de pasta larga enriquecida con leguminosas. *Revista chilena de nutrición*. 2014;41(4):425–432.
59. Vilcanqui F. Propiedades funcionales y fisiológicas de dietas con fibra soluble (goma de tara) e insoluble (hojas de agave) en ratas holtzman. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2018.
60. Peerajit P, Chiewchan N, Devahastin S. Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fibre powder from lime residues. *Food Chemistry*. 2012;132(4):1891–1898.

61. Liu Y, Zhang H, Yi C, Quan K, Lin B. Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulase treatment. *Food Chemistry*. 2021;342:1-9.
62. Ipohorski M, Bozzano P. Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de los materiales. *Ciencia e investigación*. 2013;63(3):43–53.
63. NOM-F-74-S-1981. Norma Oficial Mexicana NOM-F-74-S-1981, Alimentos para humanos-aceites esenciales, aceites y grasas vegetales o animales - determinación del índice de refracción con el refractómetro de Abbé. 1981.
64. Mathias K, Ah K. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agrosur*. 2014;42(2):57–66.
65. Calvo H, Campo E, Oria R, Redondo D, Venturini M. Alimentando los sentidos. España; 2015 [internet]. Disponible en: https://ucc.unizar.es/sites/ucc.unizar.es/files/enziende_materialdidactico_alimentando_web.pdf
66. Rioja A, Vizaluque B, Aliaga E, Tejeda L, Book O, Mollinedo P, et al. Determination of the total antioxidant capacity, total phenols, and the enzymatic activity in a non-dairy beverage based on grains of chenopodium quinoa. *Revista Boliviana de Química*. 2018;35(5):168–176.
67. Llica E, Castañeda B, Ibáñez L. Evaluación de la capacidad antioxidante de plantas medicinales peruanas nativas e introducidas. *Revista de la Academia Peruana de Salud*. 2008;15(1):56-72.
68. Austin J, Rodriguez S, Sung P, Harris M. Utilizing microwaves for the determination of moisture content independent of density. *Powder Technology*. 2013;236:17–23.
69. AOAC International. *Official Methods of Analysis*. EUA: AOAC International; 2021.
70. Aparicio I. Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de productos funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. España; Universidad Complutense de Madrid: 2008.
71. American Association of Cereal Chemists, Approved methods committee. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. EUA: AACCC; 2000.
72. Vivanco E, Martínez E, Farías M, Martínez D, Zaragocín R, Mackliff C, et al. Cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo y almidón de frutipan (*Artocarpus altilis*). *Revista de Investigación Talentos*. 2018;5(2):12–16.
73. Riveros Y. Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum durum*) por harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y harina de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) en las características sensoriales y calidad culinaria de fideos tipo fettuccine. Perú; Universidad César Vallejo: 2020.
74. Ma M, Mu T. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chemistry*. 2016;194:237–246.
75. Vásquez F, Verdú S, Islas A, Barat J, Grau R. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de

- la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* . 2016;17(2):307–317.
76. Cárdenas-Mazón N, Cevallos-Hermida E, Salazar-Yacelga JC, Romero-Machado ER, Gallegos-Murillo PL, Cáceres-Mena ME. Uso de pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas de evaluación sensorial en el campo gastronómico. *Dominio de las Ciencias*. 2018;4(3):253.
 77. Vedia V, Deyse P, Karin S, Ruano J. Calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de tallarines producidos con sustitución parcial de sémola de trigo por harina de amaranto. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 2016;20(3):190–197.
 78. Serrano J, Goñi I, Saura-Calixto F. Food antioxidant capacity determined by chemical methods may underestimate the physiological antioxidant capacity. *Food Research International*. 2007;40(1):15–21.
 79. Kuskoski E, Asuero A, Troncoso A, Mancini J, Fett R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2005;25(4):726–732.
 80. Morales F, Jiménez S. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*. 2001;72(1):119–125.
 81. Pérez J, Arranz S, Taberner M, Díaz M, Serrano J, Goñi I, et al. Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*. 2008;41(3):274–285.
 82. Sánchez J, Ramírez E, Cansino N, Manríquez J, Ayala A. Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y bioaccesibilidad intestinal *in vitro* de un jugo de zarzamora termoultrasonificado. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. 2015;4(7).
 83. Dussán-Sarria S, Cruz-Noguera R, Godoy SP. Estudio del perfil de aminoácidos y análisis proximal de pastas secas extruidas a base de harina de quinua y harina de chontaduro. *Información tecnológica*. 2019;30(6):93–100.
 84. Santos J, Ruano J, Silva M, Ascheri J. Caracterização e avaliação sensorial de massas alimentícias enriquecidas com casca de ovo de galinha (*Gallus gallus*, L.) em pó. Brasil; Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro: 2013.
 85. Vicente M, Güemes N, Quintero A, Piloni J. La sustitución parcial o total de sémola de trigo en las pastas y su valor nutricional. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*. 2017;3(6).
 86. Jiménez P. Elaboración de dos pastas de trigo (*Triticum durum L.*) con adición de *Bacillus coagulans* ProDURA Unique IS-2 como probiótico. Honduras; Escuela Agrícola Panamericana: 2018.
 87. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios. México: INCMNSZ; 2016.
 88. Hernández R. Propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de pasta seca a base de harina de chufa. España; Universidad Politécnica de Valencia: 2016.

89. Castillo J. Estudio del perfil de aminoácidos del huevo de gallina (*Gallus domesticus*) y pre-diseño de una planta de producción de huevo líquido. Ecuador; Universidad Central de Ecuador: 2019.
90. Proteína de grillo – IN Insect Nutrition [Internet]. [Consultado 17 enero 2022]. Disponible en: <https://insectnutrition.mx/products/proteina-de-grillo-mexico>
91. Toro Y, Guerra M, Espinoza C, Newman A. Cambios en la composición proximal de harina de maíz precocida, arroz, pastas y cereales infantiles al prepararlos en el hogar para su consumo. *Anales Venezolanos de Nutrición*. 2011;24(1):27–33.
92. Gómez C, Sastre A. Anexo 5 Tablas de recomendaciones (normativas y recomendaciones nutricionales). En: *Soporte nutricional en el paciente oncológico*. Madrid: You & Us; 2004: 317–322.
93. Antón M, Pablos C, Gil I, Gil P, Javier F, Maturana N, et al. Envejecimiento y nutrición dieta ideal para los mayores. *Sociedad Española de Geriatria y Gerontología*; 2014.
94. Bachoco. Huevo blanco [Internet]. [Consultado 18 enero 2022]. Disponible en: <https://bachoco.com.mx/producto/huevo-blanco/>
95. Ochoa G. Evaluación sensorial, físico-química y glucémica de una pasta elaborada con harina de trigo (*Triticum aestivum*) y aguacate (*Persea americana* M.) liofilizado. México; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo: 2015.
96. López-Sobaler A, Vizuete A. El huevo en la dieta de las personas mayores; beneficios nutricionales y sanitarios. *Nutrición hospitalaria*. 2014;30(2):56–62.
97. Álvarez PJ, Mateo J, Giráldez J. Harina de grillo *Acheta domesticus*: composición lipídica y posibilidades sobre su modificación por medio de la dieta. *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias básicas*. 2020;18(2):38–43.
98. Carta G, Murru E, Banni S, Manca C. Palmitic acid: Physiological role, metabolism and nutritional implications. *Frontiers in Physiology*. 2017;8:1-14.
99. Marangoni F, Agostoni C, Borghi C, Catapano AL, Cena H, Ghiselli A, et al. Dietary linoleic acid and human health: Focus on cardiovascular and cardiometabolic effects. *Atherosclerosis*. 2020;292:90–98.
100. Rehman K, Haider K, Jabeen K, Akash MSH. Current perspectives of oleic acid: Regulation of molecular pathways in mitochondrial and endothelial functioning against insulin resistance and diabetes. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2020;21(4):631–643.
101. Vincent MJ, Allen B, Palacios OM, Haber LT, Maki KC. Meta-regression analysis of the effects of dietary cholesterol intake on LDL and HDL cholesterol. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2019;109(1):7–16.
102. Ovando M. Pasta adicionada con harina de plátano: Digestibilidad y capacidad antioxidante. México; Instituto Politécnico Nacional: 2008.
103. Çabuk B, Yılmaz B. Fortification of traditional egg pasta (erişte) with edible insects: nutritional quality, cooking properties and sensory characteristics evaluation. *Journal of Food Science and Technology*. 2020;57(7):2750–2757.

104. Rincón-Pabón D, González-Santamaría J, Urazán-Hernández Y, Rincón-Pabón D, González-Santamaría J, Urazán-Hernández Y. Prevalencia y factores sociodemográficos asociados a anemia ferropénica en mujeres gestantes de Colombia (análisis secundario de la ENSIN 2010). *Nutrición Hospitalaria*. 2019;36(1):87–95.
105. Maza C, Osuna I, Maldonado P. Manejo nutricional del paciente con úlceras por presión: una revisión de la literatura. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*. 2021;4(1):1–21.
106. Olechnowicz J, Tinkov A, Skalny A, Suliburska J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. *Journal of Physiological Sciences*. 2018;68(1):19–31.
107. Herrera O, Rodríguez A, Barrera L, Sánchez M. Bocio multinodular tratamiento quirúrgico. *Recimundo*. 2019;3(4):150–176.
108. Gaucin J, Preciado P, Gónzales U, Sifuentes E, Núñez F, Orozco J. La biofortificación con selenio mejora los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en chile jalapeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2021;12(8):1339–1349.
109. Kang D, Lee J, Wu C, Guo X, Lee BJ, Chun JS, et al. The role of selenium metabolism and selenoproteins in cartilage homeostasis and arthropathies. *Experimental & Molecular Medicine* 2020;52(8):1198–1208.
110. Martinuzzi A, Cornu M, Roel P, Sánchez C, Sepúlveda M, Sanhueza L. Sobre la presencia del síndrome de realimentación en una unidad de cuidados críticos. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*. 2019;29(2):392–409.
111. Guadalupe S, Fernández M, Herrera J, Gavilanes V. *Biología general para la enfermería*. Colombia: Consejo Editorial UTA; 2018.
112. Wild L. El magnesio y los minerales de tu cuerpo son absolutamente esenciales. *Anales de la Universidad Central del Ecuador*. 2020;1(378): 401-421.
113. Padalino L, Mastromatteo M, Lecce L, Cozzolino F, del Nobile MA. Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. *Journal of Cereal Science*. 2013;57(3):333–342.
114. Corea P, Bernández G. Desarrollo de snacks horneados a base de harina de maíz (*Zea mays*) con sustitución de harina de grillo (*Acheta domesticus*) y puré de cáscara de zanahoria (*Daucus carota*). Honduras; Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano: 2021.
115. Bustos M, Pérez G, León A. Effect of four types of dietary fiber on the technological quality of pasta. *Food Science and Technology International*. 2011;17(3):213–221.
116. Ribeiro JC, Lima RC, Maia MRG, Almeida AA, Fonseca AJM, Cabrita ARJ, et al. Impact of defatting freeze-dried edible crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars. *Food Science and Technology*. 2019;113:1-7.
117. Kipkoech C, Kinyuru JN, Imathiu S, Meyer-Rochow V, Roos N. *In vitro* study of cricket chitosan's potential as a prebiotic and a promoter of probiotic microorganisms to control pathogenic bacteria in the human gut. *Foods*. 2021;10(10):1-13.

118. Araya H, Pak N, Vera G, Alviña M. Digestion rate of legume carbohydrates and glycemic index of legume-based meals. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009;54(2):119–26.
119. Astaíza M, Ruíz L, Elizalde A. Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild.*) y zanahoria (*Daucus carota*). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 2010;8(1):43–53.
120. de Noni I, Pagani M. Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2010;50(5):465–472.
121. Martínez C. Utilización de pastas como alimentos funcionales. Argentina; Universidad Nacional de La Plata: 2010.
122. Criollo J, Martínez E, Silverio C, Díaz R. Pruebas de cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo - almidón de banano. *Cumbres*. 2018;4(1):63–73.
123. Hosney R, González M. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. España: Acribia; 1991. 269–274.
124. Larrosa V. Efectos de los hidrocoloides en las características fisicoquímicas y reológicas de pastas libres de gluten aptas para individuos celíacos. Argentina; Universidad Nacional de La Plata: 2014.
125. Flores E, Ortega L, Rincones E. Evaluación nutricional y sensorial de pastas alimenticias elaboradas con sémola de trigo (*Triticum durum*) y harina de ahuyama (*Cucurbita máxima duch*). *Alimentos Hoy*. 2017;25(42):3–17.
126. Aranibar C. Mejoramiento de la capacidad antioxidante y de la calidad nutricional de pastas mediante el uso de un derivado de chía (*Salvia hispánica*). Argentina; Universidad Nacional de Córdoba: 2017.
127. Chandra S, Singh S, Kumari D. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(6):3681–3688.
128. Akpoussan R, Digbeu Y, Koffi M, Kouadio J, Dué E, Kouamé P. Protein fractions and functional properties of dried *Imbrasia oyemensis* larvae full-fat and defatted flours. *International Journal of Biochemistry Research & Review*. 2015;5(2):116–26.
129. Villarroel M, Acevedo C, Yáñez E, Biolley E. Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2003;53(4): 400-407.
130. Liu Y, Xu M, Wu H, Jing L, Gong B, Gou M, et al. The compositional, physicochemical and functional properties of germinated mung bean flour and its addition on quality of wheat flour noodle. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;55(12):5142–5152.
131. Aguilera Y, Pastrana I, Rebollo-Hernanz M, Benitez V, Álvarez-Rivera G, Viejo JL, et al. Investigating edible insects as a sustainable food source: Nutritional value and techno-functional and physiological properties. *Food and Function*. 2021;12(14):6309–6322.

132. Alfonzo G. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2000;50(3): 281-285.
133. Olivera E. Evaluación de subproducto obtenido en la elaboración de jugos de mango y guayaba como fuente de fibra antioxidante. México; Universidad Autónoma de Querétaro: 2012.
134. Benedetta G. Aspectos tecnológicos y nutricionales de pasta sin gluten a base de harina de garbanzo y harina de chufa. España; Universidad Politécnica de Valencia: 2017.
135. Liu T, Hamid N, Kantono K, Pereira L, Farouk MM, Knowles SO. Effects of meat addition on pasta structure, nutrition and in vitro digestibility. *Food Chemistry*. 2016;213:108–114.
136. Udomsil N, Imsoonthornruksa S, Gosalawit C, Ketudat-Cairns M. Nutritional values and functional properties of house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food Science and Technology Research*. 2019;25(4):597–605.
137. Ossler F, Hetherington CJD. Finger-like carbon-based nanostructures produced by combustion of flour-based sticks (spaghetti). 2019;5(2):1-13.
138. de Azevedo WM, de Oliveira LFR, Alcântara MA, de Magalhães Cordeiro AMT, da Silva Chaves Damasceno KSF, de Araújo NK, et al. Physicochemical characterization, fatty acid profile, antioxidant activity and antibacterial potential of cacay oil, coconut oil and cacay butter. *Public Library of Science ONE*. 2020;15(4): 1-11.
139. Haro A, de Evan T, Vázquez JDLF, Díaz MT, Cano JG, Carro MD. Effect of a diet supplemented with malic acid–heat (MAH) treated sunflower on carcass characteristics, meat composition and fatty acids profile in growing lambs. *Animals*. 2020;10(3): 1-10.
140. Li Y, Zhao J, Xie X, Zhang Z, Zhang N, Wang Y. A low trans margarine fat analog to beef tallow for healthier formulations: Optimization of enzymatic interesterification using soybean oil and fully hydrogenated palm oil. *Food Chemistry*. 2018;255:405–413.
141. Biswas N, Cheow YL, Tan CP, Siow LF. Physicochemical properties of enzymatically produced palm-oil-based cocoa butter substitute (CBS) with cocoa butter mixture. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2018;120(3):1-16.
142. Aung WP, Bjertness E, Htet AS, Stigum H, Chongsuvivatwong V, Soe PP, et al. Fatty acid profiles of various vegetable oils and the association between the use of palm oil vs. peanut oil and risk factors for non-communicable diseases in Yangon region, Myanmar. *Nutrients*. 2018;10(9):2-14.
143. Smanalieva J, Ozbekova Z, Kulmyrzaev A, Fischer P. Investigation of fatty acid composition, thermal and rheological behavior of yak, cow and horse fats. *Manas Journal of Engineering*. 2019;7(1):24–33.
144. Mahmud A, Girmatsion M, Abraha B, Mohammed JK, Yang F, Xia W. Fatty acid and amino acid profiles and digestible indispensable amino acid score of grass carp

- (*Ctenopharyngodon idella*) protein concentrate supplemented noodles. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020;14(5):2370–2379.
145. Li J, Guasch-Ferré M, Li Y, Hu FB. Dietary intake and biomarkers of linoleic acid and mortality: systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2020;112(1):150–167.
 146. Bork CS, Baker EJ, Lundbye-Christensen S, Miles EA, Calder PC. Lowering the linoleic acid to alpha-linoleic acid ratio decreases the production of inflammatory mediators by cultured human endothelial cells. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 2019;141:1–8.
 147. Tallima H, el Ridi R. Arachidonic acid: Physiological roles and potential health benefits – A review. *Journal of Advanced Research*. 2018;11:33–41.
 148. Kim HS, Yoo HJ, Lee KM, Song HE, Kim SJ, Lee JO, et al. Stearic acid attenuates profibrotic signalling in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respirology*. 2021;26(3):255–263.
 149. Borrelli L, Varriale L, Dipineto L, Pace A, Menna LF, Fioretti A. Insect derived lauric acid as promising alternative strategy to antibiotics in the antimicrobial resistance scenario. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:1-7.
 150. Tutunchi H, Ostadrahimi A, Saghafi-Asl M. The effects of diets enriched in monounsaturated oleic acid on the management and prevention of obesity: a systematic review of human intervention studies. *Advances in Nutrition*. 2020;11(4):864–877.
 151. Gull A, Prasad K, Kumar P. Nutritional, antioxidant, microstructural and pasting properties of functional pasta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2018;17(2):147–153.
 152. Wandee Y, Uttapap D, Puncha-Arnon S, Puttanlek C, Rungsardthong V, Wetprasit N. Quality assessment of noodles made from blends of rice flour and canna starch. *Food Chemistry*. 2015;179:85–93.
 153. Salazar D, Acurio L, Pérez L, Valencia A, Cuzco J. Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por achogcha (*Cyclanthera pedata*) en la elaboración de pastas tipo tallarín. *Agroindustrial Science*. 2015;5:103-108.
 154. Peris B. Desarrollo de formulaciones de pasta fresca con incorporación de salvado micronizado y agentes estructurantes: propiedades tecnofuncionales. España; Universidad Politécnica de Valencia: 2014.
 155. Álvarez A. Desarrollo y evaluación de barritas con alto contenido proteico con incorporación de harina de grillo. España; Universidad Politécnica de Valencia: 2019.
 156. Lisiecka K, Wójtowicz A, Dziki D, Gawlik-Dziki U. The influence of *Cistus incanus* L. leaves on wheat pasta quality. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56(9):4311–4322.
 157. Benedetti-Bordin A, Roque-Specht VF. The effects of adding soy fiber to wheat spaghetti. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*. 2012;30(2):177–184.

158. Albors A, Raigon MD, García-Martínez MD, Martín-Esparza ME. Assessment of techno-functional and sensory attributes of tiger nut fresh egg tagliatelle. *Food Science and Technology*. 2016;74:183–190.
159. Jayasena V, Nasar-Abbas SM. Development and quality evaluation of high-protein and high-dietary-fiber pasta using lupin flour. *Journal of Texture Studies*. 2012;43(2):153–163.
160. Barton A, Richardson CD, McSweeney MB. Consumer attitudes toward entomophagy before and after evaluating cricket (*Acheta domesticus*)-based protein powders. *Journal of Food Science*. 2020;85(3):781–788.
161. Khan I, Yousif A, Johnson SK, Gamlath S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*. 2013;54(1):578–586.
162. Hirawan R, Ser WY, Arntfield SD, Beta T. Antioxidant properties of commercial, regular- and whole-wheat spaghetti. *Food Chemistry*. 2010;119(1):258–264.
163. Fares C, Platani C, Baiano A, Menga V. Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. *Food Chemistry*. 2010;119(3):1023–1029.
164. Sant’Anna V, Christiano FDP, Marczak LDF, Tessaro IC, Thys RCS. The effect of the incorporation of grape marc powder in fettuccini pasta properties. *Food Science and Technology*. 2014;58(2):497–501.
165. Yeerong K, Sriyab S, Somwongin S, Punyoyai C, Chantawannakul P, Anuchapreeda S, et al. Skin irritation and potential antioxidant, anti-collagenase, and anti-elastase activities of edible insect extracts. *Scientific Reports* 2021;11(1):1–11.
166. Navarro del Hierro J, Gutiérrez-Docio A, Otero P, Reglero G, Martín D. Characterization, antioxidant activity, and inhibitory effect on pancreatic lipase of extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor*. *Food Chemistry*. 2020;309: 1-16.
167. Haque M, Mahadeva R. Screening of secondary metabolites and comparative superoxide radical scavenging along with reducing potency of persea americana using various solvent extracts. *Drug Invention Today*. 2012;4(11):569–574.
168. Zielińska E, Baraniak B, Karaś M. Antioxidant and anti-inflammatory activities of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-treated edible insects. *Nutrients*. 2017;9(9):1–14.
169. Cota A, Salazar M, Espinoza A, Pérez L, Cinco F, Martínez O, et al. Characterization of pasta with the addition of *Cicer arietinum* and *Salvia hispanica* flours on quality and antioxidant parameters. *Italian Journal of Food Science*. 2019;31:626–643.
170. Pérez-Perez LM, Toro Sánchez CL del, Sánchez Chavez E, González Vega RI, Reyes Díaz A, Borboa Flores J, et al. Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en México, mediante un sistema gastrointestinal *in vitro*. *Biotechnia*. 2020;22(1):117–125.

171. Biernacka B, Dziki D, Gawlik-Dziki U, Różyło R, Siastała M. Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber. *Food Science and Technology*. 2017;77:186–192.
172. Guo Y, Ma M, Jiang F, Jiang W, Wang H, Du S kui. Protein quality and antioxidant properties of soymilk derived from black soybean after in vitro simulated gastrointestinal digestion. *International Journal of Food Science & Technology*. 2020;55(2):720–728.
173. Morales JA, Figueroa OA, Zapata JE. Optimización de hidrólisis enzimática de la fracción globular de sangre bovina por metodología de superficie respuesta y evaluación de sus propiedades antioxidantes. *Información tecnológica*. 2017;28(2):75–86.
174. Estrada P. Comparación de la capacidad antioxidante total del suero y plasma en personas aparentemente sanas. Sonora: Universidad de Sonora; 2017.
175. Gómez LJ, Figueroa OA, Zapata JE. actividad antioxidante de hidrolizados enzimáticos de plasma bovino obtenidos por efecto de alcalasa® 2.4 L. *Información tecnológica*. 2013;24(1):33–42.
176. Hernández Espinosa DR, Barrera Morín V, Briz Tena O, González Herrera EA, Laguna Maldonado KD, Jardínez Díaz AS, et al. El papel de las especies reactivas de oxígeno y de nitrógeno en algunas enfermedades neurodegenerativas. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*. 2019;62(3):6–19.
177. Zapata K, Cortes FB, Rojano BA. Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de guayaba agria (*Psidium araca*). *Información tecnológica*. 2013;24(5):103–112.
178. López J. Estudio comparativo de la actividad antioxidante en fresas de cultivos de origen tradicional versus ecológico. España: Universidad De Coruña; 2017.

XII. Anexos

Anexo 1. Tabla de índice de refracción de aceites

Aceite	Índice de refracción	Aceite	Índice de refracción
Aceite de parafina	1.3324-1.4119	Sebo de cordero	1.455-1.458
Aceites insaturados	1.3714-1.4319	Sebo de cerdo	1.458-1.461
Aceite naftenico	1.4065-1.4356	Sebo de caballo	1.460-1.465
Aceites aromáticos	1.4865-1.5500	Aceite de crisálida	1.471-1.476
Aceite de linaza	1.479-1.481	Aceite de sardina	1.479-1.481
Aceite de girasol	1.474-1.476	Aceite de arenque	1.470-1.475
Aceite de tung	1.500-1.510	Aceite de hígado de bacalao	1.477-1.483
Aceite de soya	1.471-1.475	Lanolina	1.478-1.462
Aceite de maíz	1.474-1.476	Cera de abeja	1.440-1.445
Aceite de semilla de algodón	1.472-.1477	Aceite de tortuga	1.4737
Aceite de sésamo	1.473-1.476	Aceite de bonito (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	1.4820-1.4878
Aceite de colza	1.472-1.476	Aceite de atún	1.4781-1.4837
Aceite de sacarina	1.471-1.474	Aceite de cola amarilla (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	1.4800
Aceite de salsa de soya	1.463-1.465	Aceite de caballa	1.4782-1.4811
Aceite de cacahuete	1.460-1.472	Aceite de sauri (<i>Cololabis saira</i>)	1.4760
Aceite de oliva	1.467-1.471	Atún caballa	1.4750-1.4792
Aceite de almendras	1.470-1.472	Aceite de bacalao	1.4788-1.4818
Aceite de camelia	1.468-1.469	aceite de abadejo de alaska (<i>Gadus chalcogrammus</i>)	1.4785-1.4798
Aceite de té	1.468-1.471	Grasa de res	1.4573-1.4587
Aceite de ceiba	1.469-1.471	Manteca de cerdo	1.4597-1.4606
Aceite de ricino	1.477-1.479	Mantequilla	1.4529-1.4631
Aceite de coco	1.448-1.450	Benzeno	1.5011
Aceite de palma	1.453-1.456	Tolueno	1.4696
Manteca de cacao	1.456-1.458		
Cera vegetal	1.457-1.459		
Sebo de res	1.454-1.459		
Aceite de comida limpio	1.460-1.461		

Anexo 2. Formato de evaluación sensorial

Evaluación sensorial

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Pruebe el producto que se presenta ante usted, y coloque la puntuación que corresponde a la frase que mejor describe su opinión sobre la característica del producto que acaba de probar.

9	Me gusta muchísimo
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta ligeramente
5	Ni me gusta ni me disgusta
4	Me disgusta ligeramente
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta muchísimo

	453	735	627
Color			
Olor			
Sabor			
Textura			

¿Cuál de las tres muestras prefiere? Marque con una x la muestra que mas sea de su agrado.

453	735	627

Comentarios: _____

Anexo 3. Porcentaje de ácidos grasos de diferentes aceites y sebos

		Aceite de coco (138)	Sebo de cordero (139)	Sebo de res (140)	Manteca de cacao (141)	Aceite de cacahuete (142)	Sebo de caballo (143)	Aceite de oliva (142)
Láurico	12:0	38.4	0.26	3.5	NR	0.2	0.1	NR
Mirístico	C14:0	20.2	3.23	0.7	0.73	0.7	2.5	NR
Pentadecanoico	C15:0	NR	0.51	0.9	NR	NR	0.24	NR
Palmítico	C16:0	13.5	21.5	27.4	25.69	26.5	20.05	9.5
Heptadecanoico	C17:0	NR	1.5	1.20	NR	0.7	2.58	0.1
Esteárico	C18:0	2.5	8.18	21.9	36.15	2.9	3.61	2.9
Araquídico	C20:0	NR	0.07	NR	1.04	0.3	0.1	1.1
Miristoleico	C14:1	NR	0.15	NR	NR	NR	0.35	NR
Palmitoleico	C16:1	NR	2.02	2.9	NR	0.1	0.82	0.1
Oleico	C18:1	15.5	42.2	38.4	33.24	32.4	52.20	35.1
	cis 9							
Linoleico	C18:2	6.1%	14.3	2.5	3.13	13.3	5.10	22.4
	n-6							
α -linolénico	C18:3	NR	0.15	0.3	NR	0.2	NR	NR
	n-3							
Araquidónico	C20:4	NR	4.35	0.2	NR	NR	NR	NR
	n-6							

NR: No reportado

San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo; a 7 de enero del 2021

Oficio Comiteei.icsa 2021/30

Asunto: DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA E INVESTIGACIÓN.

José Alberto Ariza Ortega
Investigador Principal

Título del Proyecto: **“Análisis nutrimental, microbiológico y digestibilidad proteica de una sopa de chapulín (*Sphenarium purpurascens*) como una alternativa proteica para sarcopenia”**

Le informamos que su proyecto de referencia ha sido evaluado por el Comité y las opiniones acerca de los documentos presentados se encuentran a continuación:

Decisión
Aprobado

Este protocolo tiene vigencia del del 07 de enero del 2021 al 06 de enero del 2022.

En caso de requerir una ampliación, le rogamos tenga en cuenta que deberá enviar al Comité un reporte de progreso de avance de su proyecto al menos 60 días antes de la fecha de término de su vigencia.

Atentamente

Dra. María del Refugio Acuña Gurrola
Presidenta del Comité

Para la validación de este documento, informe el siguiente código en la sección Validador de documentos del sitio web del

Comité: **fc5gk4Tr;mG%mM@**

<https://sites.google.com/view/comiteei-icsa/validador-de-documentos>