



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA



MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

“Evaluación del proceso de extrusión para la obtención de harinas de chapulín de la milpa *Sphenarium purpurascens* con alto valor nutricional y aceptabilidad organoléptica”

Presenta:

QFB. Gabriela Mina Velázquez

Dirigida por:

Dr. Eduardo Castaño Tostado

Centro Universitario

Santiago de Querétaro, Qro.

Noviembre 2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Evaluación del proceso de extrusión para la obtención de harinas de chapulín de la milpa *Sphenarium purpurascens* con alto valor nutricional y aceptabilidad organoléptica”

TESIS

Como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

QFB. Gabriela Mina Velázquez

Dirigido por:

Dr. Eduardo Castaño Tostado

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Director

Firma

Dra. Silvia L. Amaya Llano
Sinodal

Firma

Dr. Luis Alfonso Mojica Contreras
Sinodal

Firma

Dr. Gustavo Adolfo Castillo Herrera
Sinodal

Firma

Dr. Carlos Regalado González
Sinodal

Firma

Centro Universitario
Santiago de Querétaro, Qro.

RESUMEN

La búsqueda de nuevas fuentes de alimentación lleva a la exploración de la entomofagia, ya que es conocido que los insectos contienen una gran cantidad de proteína y su producción es más amigable con el medio ambiente comparado con otras fuentes comunes como lo son la carne de res y pollo. Un reto importante para lograr una aceptación del consumo de esta fuente es vencer la neofobia, haciendo atractivo sensorialmente el producto. Por lo que el objetivo de este proyecto fue obtener un polvo de chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens*), con calidad nutricional, fisicoquímica y manteniendo su estabilidad en el tiempo utilizando la tecnología de extrusión. Al evaluar las condiciones de velocidad de rotación del tornillo (rpm), humedad (% H) y temperatura de extrusión (°C) para obtener las condiciones adecuadas en la producción mediante un diseño 2³, se determinó que las mejores condiciones fueron 100 °C, 20% H y 10 rpm, debido el polvo obtenido fue más reproducible, ya que se tuvieron problemas de contaminación con otro material debido a la misma estructura del equipo, por lo que se decidió utilizar la condición más reproducible, teniendo como resultados promedio del índice de absorción de agua (IAA) de 3.3 g/g ± 0.0, índice de solubilidad en agua (ISA) de 8.4 % ± 1.1 y luminosidad de 39.5 % ± 0.5, comparado con la materia prima antes de la extrusión que tuvo un IAA de 3.5 g/g ± 0.1, ISA de 9.8 % ± 0.6 y luminosidad de 43.8 % ± 0.5. Las propiedades nutricionales del polvo producido fueron: cantidad de proteínas (65.6 % ± 0.2) y su digestibilidad (90.1 %), lípidos (11.0 % ± 0.5), cenizas (2.6 % ± 0.1) y carbohidratos (20.8 %). El polvo extruido fue estable por tres meses en cuanto a su color y humedad al no presentar cambios importantes en su empaque al vacío, así como, no se observó un aumento significativo del índice de peróxidos que indicaran un enranciamiento del material. Al mismo tiempo se utilizó este polvo para incorporarlo en una formulación de una pasta de sémola de trigo mezclándolo en diferentes proporciones (5, 10 y 15 %), de polvo de chapulín, esto con el objetivo de mejorar su perfil nutrimental. A la pasta finalmente formulada se le realizaron análisis microbiológicos para asegurar su inocuidad, y enseguida realizar una evaluación sensorial para comparar a las distintas formulaciones respecto a su aceptabilidad por panelistas no entrenados, el resultado de esta evaluación sensorial se encontró que la pasta más aceptable fue aquella con el 5% de polvo de chapulín, ya que obtuvo una calificación mediana de 6 en una escala hedónica de 9 puntos. Los resultados no demostraron diferencias significativas en el polvo extruido comparado con la materia prima sin extruir, hasta donde fue explorado, no alteró las propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales del polvo de chapulín.

Palabras clave: Entomofagia, extrusión, *Sphenarium purpurascens*, pasta

ABSTRACT

The search for new food sources leads to the exploration of entomophagy, since it is known that insects contain a high protein content. Besides, their production is more environmentally friendly compared to other sources such as beef and chicken. An important challenge to achieve acceptance of the consumption of this source is to overcome neophobia, making the product sensorially attractive. Therefore, the objective of this project was to obtain, using extrusion technology, a grasshopper powder from “Chapulín de la milpa” (*Sphenarium purpurascens*), with nutritional and physicochemical quality and maintaining its stability over time. When evaluating the conditions of screw rotation speed (rpm), moisture (% H) and extrusion temperature (°C) to obtain the appropriate conditions in production through a 2³ design, it was determined that the best conditions were 100 °C, 20 % H and 10 rpm, due to the fact that the powder obtained was more reproducible, for there were contamination problems with other material due to the same structure of the equipment, so it was decided to use the most reproducible condition, having as average of water absorption index (WAI) of 3.3 g/g ± 0.0, water solubility index (WSI) de 8.4 % ± 1.1 and luminosity 39.5 % ± 0.5 compared to the raw material before extrusion which had a WAI of 3.5 g/g ± 0.1, WSI of 9.8 % ± 0.6 and luminosity of 43.8 % ± 0.5. The nutritional properties of the powder produced were proteins (65.6 % ± 0.2) and its digestibility (90.1 %), lipids (11.0 % ± 0.5), ashes (2.6 % ± 0.1) and carbohydrates (20.8 %). The extruded powder was stable for three months in terms of its color and humidity as it did not present important changes in its vacuum packaging, as well as a significant increase in the peroxide index was not observed, indicating a not rancidity of the material. At the same time, this powder was used to incorporate it into a formulation of a wheat semolina pasta, mixing it with different proportions (5, 10 and 15 %) of grasshopper powder, this as a way to improve its nutritional profile. Microbiological analyzes were carried out on the finally formulated pasta to ensure its safety, and thus be able to carry out a sensory evaluation to compare the different formulations in their acceptability by untrained panelists, as a result of this sensory evaluation, the most acceptable pasta was rated as the one with 5 % replacement with grasshopper powder, as it obtained a median score of 6 on a 9-point hedonic scale. The results did not show significant differences in the extruded powder compared to the raw material without extrusion, as far as it was explored, it did not alter the physicochemical and techno-functional properties of grasshopper powder.

Keywords: Entomophagy, extrusion, *Sphenarium purpurascens*, pasta

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



QFB. Gabriela Mina Velázquez

Agradecimientos

A Dios y mis padres, por darme la vida y la oportunidad de poder continuar mis estudios y obtener un crecimiento profesional, por apoyarme en las decisiones importantes de mi vida y su amor incondicional.

A mis amigos y compañeros de generacion, en especial a Naye, Adan e Ivan por su compañía en la extrusora, la amistad brindada, su apoyo emocional y las memorias de las aventuras vividas.

A Isac Rivas por su mentoría y apoyo, por ayudarme a resolver las dudas que me surgieron a lo largo del proyecto ありがとう 先輩 (Arigato senpai).

A mis compañeros de laboratorio, Edgar y Alejandro por animar el ambiente de trabajo y demas compañeros que aunque por motivos de la pandemia por Covid-19 no pudo suceder una mayor convivencia, gracias tambien a la Dra. Lucia por estar al pendiente de todos nosotros en el laboratorio.

Al Dr. Eduardo Castaño por ser mi sensei, por su gran disposicion y enseñanzas y por su apoyo en la resolucion de problemas que surgieron en el proceso de este proyecto. A mis asesores, Dra. Silvia Amaya, Dr. Carlos Regalado, Dr. Luis Mojica, Dr. Gustavo Castillo, por sus observaciones y correcciones que aportaron para la mejora de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia (CONACYT), por la beca otorgada para realizar los estudios de maestria CVU: 995643

Al personal administrativo de la facultad de quimica por su grandiosa labor, en especial a Carmelita por estar siempre al pendiente de nosotros y de cada detalle burocratico a realizar.

“Los peores sitios del mundo se pueden soportar si la gente que allí habita es interesante y amable.” — Lemony Snicket

Índice

Contenido	Página
Resumen.....	i
Abstract	ii
Declaración de no plagio	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice general.....	v
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	viii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. Insectos en el mercado mexicano.....	3
2.2. Generalidades de <i>Sphenarium purpurascens</i> y su calidad nutricional	7
2.3. Producción de harinas de insecto y elaboración de nuevos productos ...	9
2.3.1. Extrusión para la elaboración de harinas	13
2.3.2. Molienda para la elaboración de harinas.....	16
2.4. Elaboración de pastas para sopas suplementadas	16
2.5. Vida de anaquel y análisis sensorial	17
2.6. Retos a enfrentar en el consumo de alimentos a base de insectos.	18
2.7. Normatividad para alimentos a base de insectos	19
3. Justificación.....	21
4. Objetivos	22
5. Metodología.....	23
5.1. Elaboración de harinas por medio de extrusión.	23

5.2. Parámetros fisicoquímicos a evaluar en el extruido.	25
5.3. Análisis nutricional.....	27
5.4. Análisis microbiológico.	29
5.5. Análisis de digestibilidad in vitro.....	30
5.6. Estabilidad del polvo seleccionado.....	30
5.7. Elaboración de una pasta incorporando el polvo seleccionado.....	31
5.8. Evaluación sensorial y aceptabilidad de las pastas.....	31
5.9. Análisis estadístico	32
6. Resultados y discusión.....	33
6.1. Efecto de la extrusión en el polvo de <i>Sphenarium purpurascens</i>	33
6.2. Contenido nutrimental.	36
6.3. Análisis microbiológico	37
6.4. Análisis de digestibilidad in vitro del polvo seleccionado.....	39
6.5. Estabilidad del polvo seleccionado.....	40
6.6. Aceptabilidad de pastas para sopa incorporada con el polvo seleccionado de chapulín	47
7. Conclusiones	51
8. Bibliografía	52
9. Anexos.....	60

Índice de tablas

Tabla	Página
1. Principales alimentos a base de insectos encontrados en el mercado mexicano.....	6
2. Composición de aminoácidos de <i>S. purpurascens</i>, con la contribución de carne y huevos, junto con requerimientos de adultos y preescolares.....	8
3. Propiedades fisicoquímicas de harinas de insectos.....	12
4. Factores a evaluar en el proceso de extrusión.....	24
5. Comparación de resultados de análisis nutricional... ..	36
6. Resultados del análisis microbiológico del polvo seleccionado... ..	37
7. Resultados del análisis microbiológico la pasta con una sustitución de 15% chapulín.....	38

Índice de figuras

Figura	Página
1. <i>Sphenarium purpurascens</i> en su estadio adulto.....	1
2. Determinación del color # 896a5c con ayuda de la herramienta de Google.	14
3. Extrusora perteneciente a la Universidad Autónoma de Querétaro...	24
4. Efectos del tratamiento de extrusión sobre el índice de absorción de agua.....	34
5. Efectos del tratamiento de extrusión sobre el índice de solubilidad en agua.....	35
6. Efectos del tratamiento de extrusión sobre la luminosidad del color.....	35
7. Cinética de la humedad a temperatura ambiente de almacenamiento.....	41
8. Cinética del índice de peróxidos a temperatura ambiente de almacenamiento.....	41
9. Cinética la luminosidad del color a temperatura ambiente de almacenamiento.....	43
10. Cinética del valor de color rojo (a) a temperatura ambiente de almacenamiento.....	43
11. Cinética del valor de color amarillo (b) a temperatura ambiente de almacenamiento.....	44
12. Cinética de la humedad a temperatura de almacenamiento de 40 °C	45

13. Cinética del índice de peróxidos a temperatura de almacenamiento de 40 °C	45
14. Cinética de la luminosidad del color a temperatura de almacenamiento de 40 °C	46
15. Cinética del valor de color rojo (a) a temperatura de almacenamiento de 40 °C	46
16. Cinética del valor de color amarillo (b) a temperatura de almacenamiento de 40 °C	47
17. Diagrama de calificaciones otorgadas a las pastas de diferentes concentraciones.....	48
18. Diagrama de calificaciones otorgadas por el sexo femenino a las pastas de diferentes concentraciones.....	49
19. Diagrama de calificaciones otorgadas por el sexo masculino a las pastas de diferentes concentraciones.....	50

1. INTRODUCCIÓN

La entomofagia, es decir, la ingesta de insectos como alimento, se ha convertido en una práctica popular en la última década por los beneficios que ésta plantea, al ser considerada una alternativa importante como fuente de proteína con alto valor nutricional; además, su producción puede ser sustentable y económica, brindando posibilidades de lograr en un futuro la seguridad alimentaria a nivel mundial (Patel et al., 2019).

Sphenarium purpurascens mejor conocido como chapulín de la milpa o saltamontes (Figura 1), es considerada una plaga en México debido a la gran cantidad que se puede encontrar en los campos de cultivos importantes, además de mantener su población durante todas las temporadas del año. A saber, que aproximadamente el 50% de peso seco de *S. purpurascens* es proteína, su uso como fuente de alimentación puede ser una opción que implementar para su control biológico, ya que al ser eliminados mecánicamente se reduce el uso de pesticidas en los cultivos y al mismo tiempo pueden ser aprovechados para la alimentación y nutrición de la población (Cerritos-Flores et al., 2014).

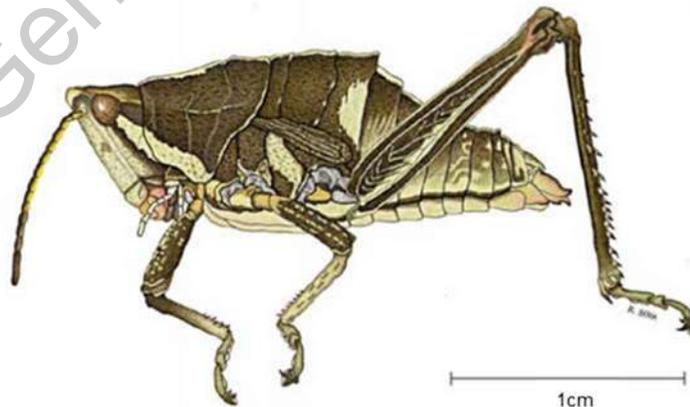


Figura 1. *Sphenarium purpurascens* en su estadio adulto.

Sin embargo, uno de los principales retos que enfrenta el consumo de insectos es el rechazo socio-cultural por parte de los consumidores o la neofobia, quienes se niegan a la aceptación de los nuevos productos debido a la percepción y asociación que se tienen de éstos, principalmente por condicionamientos psicológicos arraigados. Una de las formas más exitosas para la aceptación es el no usar los insectos enteros, sumado al enmascaramiento de sus sabores; por ejemplo, productos de panificación que al modificarse su formulación mediante la sustitución parcial de sus ingredientes con ingredientes derivados de insectos; por ejemplo, para lograr un enriquecimiento nutricional, substituir harina de trigo o maíz por polvos de insectos, o bien, la sustitución de mantequilla proveniente por lípidos de larvas de mosca soldado negras (*Hermetia illucens*) (Delicato *et al.*, 2020; Patel *et al.*, 2019).

Por lo anterior, debido a la preferencia que existe por evitar consumir insectos enteros, la obtención de harinas de chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens*), con aceptabilidad sensorial en sus atributos de color y sabor provistos por el proceso de extrusión, manteniendo en el tiempo sus propiedades fisicoquímicas y calidad nutrimental, resulta ser factible para su introducción al mercado de productos comestibles a base de insectos en México.

2. ANTECEDENTES

2.1. Insectos en el mercado mexicano

La venta en el mercado formal de insectos en México tuvo una valuación de \$25.6 millones USD en 2018, aportando aproximadamente un 19 % del total de la industria de insectos comestibles de América del Norte y estimando que para el año 2023 tendrá una valuación de \$58.7 millones USD (FUNDES Strategy, 2019).

Los principales productos a base de insectos encontrados actualmente en el mercado mexicano se pueden observar en la Tabla 1. En su mayoría se comercializa con el insecto entero, sin embargo, es posible encontrar también el producto en forma de harina, sal o polvo de aislado de proteína; productos que en virtud de ser un negocio con arraigo cultural no se encuentra con un etiquetado ni empaque regulado, al mismo tiempo que muestra una preparación sencilla de condimentación y un cocinado o deshidratado no estandarizado para su producción. En cuanto a su variación de precios, oscila desde los \$600 a más de \$4000 pesos mexicanos por kilogramo de producto. Sin embargo, un estudio realizado por House (2016) indica que el 64 % de los consumidores de insectos no ven el precio como un obstáculo para su compra, al presentarles una comparación del precio de dos hamburguesas en base de insectos con precio de 4 euros contra su equivalente de hamburguesas vegetarianas (2- 3 euros) o de carne (1- 3 euros); además de que el 42 % del grupo estudiado indicaron estar conscientes de que para comer saludable y obtener de manera sustentable suficientes nutrientes y proteínas, es necesario probar nuevos alimentos nutritivos y producidos con respeto al medio ambiente.

En México, es bastante común el consumo de saltamontes del género *Sphenarium*, debido a que se pueden encontrar en gran cantidad en la naturaleza la mayor parte del año, siendo muy populares como una botana en el sur del país debido a la práctica cultural generalizada a lo largo de los años (Patel et al., 2019). Además de su abundancia, su consumo se da por gusto, tradición y porque la gente los califica como limpios, sabrosos y nutritivos, formando parte de la alimentación mexicana desde la época prehispánica, de acuerdo a lo descrito por Fray Bernardino de Sahagún en el código Florentino (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). Sin embargo, la práctica de alimentación a base de insectos suele ser rechazada en algunos lugares del país donde no se tiene dichas costumbres debido a la neofobia, al mismo tiempo se ha mostrado que el conocimiento sobre sus características nutrimentales, propiedades funcionales y el efecto positivo en el medio ambiente resulta ser importante para la aceptación del consumidor (Menozzi et al., 2017).

El consumo de insectos es una opción adecuada para las personas denominadas “flexitarianas”, quienes buscan la reducción de su consumo de carne en la alimentación diaria, ya que un 33 % de personas entrevistadas por House (2016) coincidieron en preferir el consumo de insectos al tener información sobre los beneficios ecológicos y de sustentabilidad, comparados con la producción de carne de ganado.

La producción sostenible se observa en la tasa de conversión de alimento de los insectos, la cual por cada 2 kg de alimento pueden generar 1 kg de biomasa de insecto, mientras que el ganado en promedio requiere de 8 kg de alimento para producir 1 kg de aumento de peso corporal, teniendo una mayor eficiencia en la producción, también se toma en cuenta que los gases de efecto invernadero producidos por la mayoría de los insectos son de 10 a 100 veces inferiores al ganado convencional. La cría de insectos depende de menos tierra que la actividad ganadera y mucha menos necesidad de agua, ya que la producción de 1 kg de pollo requiere 2 300 litros de agua, 1 kg de carne de cerdo

requiere 3 500 litros y 1 kg de carne de res requiere de 22 000 hasta 43 000 litros: Es de notar que, sin embargo, hasta el momento no se tiene reportada la necesidad exacta de agua para la producción de insectos comestibles, pero se estima que sería una cantidad muy baja, sobre todo por la característica de algunas especies resistentes a la sequía (Halloran y Vantomme, 2013; Pimentel et al., 2004).

Por lo tanto, del consumo humano de insectos se puede hablar de un ahorro de recursos naturales esenciales por lo que constituye un apoyo para el objetivo de la FAO de incrementar la eficacia en la utilización y la productividad del agua, al igual que reducir los efectos del cambio climático, favoreciendo a cumplir el desafío de obtener una producción suficiente de alimentos para una población en crecimiento, puesto que se tiene previsto 8 200 millones de personas que el planeta deberá de alimentar para 2030, FAO, 2020).

Tabla 1. Principales alimentos a base de insectos encontrados en el mercado mexicano.

Marca	Descripción	Información nutricional reportada en empaque	Precio por kg en Pesos mexicanos	*Disponible en:
Sin marca	Chapulines Oaxaqueños fritos con ajo, jugo de limón y sal de gusano de maguey y chile de árbol.	No mostrado por el vendedor.	\$600	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-663124959-chapulines-oaxaqueños-limon-y-sal-500-grs-_JM?matt_tool=79550201&matt_word&gclid=CiwKCAjwguzzBRBiEiwAgU0FTxKZ1DgpAV4sQ9XaxAYBhIQyVzV1MUMRTDnsVvrb3gaFYtW_d1AqCBoCGhsQAvD_BwE&quantity=1
HUIPICHIL	Chapulín deshidratado con sal y limon.	Tamaño de la porción 10 g: Calorías 9 kcal Grasa total 1% Carbohidratos totales 0%	\$2,380	https://www.amazon.com.mx/CHAPULIN-DESHIDRATADO-SAL-Y-LIMON/dp/B07JD7JS5P/ref=asc_df_B07JD7JS5P/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=369190590649&hvpos=&hvnw=g&hvrnd=4264967594700234690&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20700&hvtargid=pla-803701392682&psc=1
Sazón Oaxaca	Chapulines adobados - Gourmet	No mostrado por el vendedor.	\$4,148	https://www.ebay.com/i/254258868094?chn=ps&_ul=MX&dispcrl=1
Gran Mitla	Sal de Chapulín elaborada con sal de mar, chiles secos, limón deshidratado y chapulín	No mostrado por el vendedor.	\$1,750	https://www.amazon.com.mx/Gran-Mitla-Sal-chapulín-100-gramo/dp/B01CDS8IGE/ref=asc_df_B01CDS8IGE/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=300404338217&hvpos=&hvnw=g&hvrnd=4264967594700234690&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20700&hvtargid=pla-581276612778&psc=1
Cochua	Grillos Deshidratados en Polvo al Natural	Tamaño de la porción 10 g: Calorías 50 kcal Grasa total 3.0 g Carbohidratos totales <1g Proteína 6.0 g	\$1,460	https://cochua.com/products/grillo-en-polvo
Crillo	Harina 100% de grillo	Tamaño de la porción 25 g: Calorías 115 kcal Grasa total 4.7 g Carbohidratos totales 2.2 g Proteína 16 g	\$1,040	https://www.amazon.com.mx/Harina-de-Grillo-cont-500gr/dp/B07T31VXLG/ref=asc_df_B07T31VXLG/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=389543661254&hvpos=&hvnw=g&hvrnd=15656186221748919142&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20700&hvtargid=pla-847982033174&psc=1
BeCrickets	Contiene: proteína de grillo, proteína de chícharo, proteína de arroz, proteína de amaranto, proteína de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.), cocoa orgánica, canela, goma xantana, concentrado de fruta del monje (<i>Siraitia grosvenorii</i>) (40 mg/100g), estevia (5.7 mg/100g), sal de mar, extracto de vainilla en polvo.	Tamaño de la porción 27 g: Calorías 101 kcal Grasa total 2.9g Carbohidratos totales 1.4 g Proteína 18 g	\$1,309	https://www.amazon.com.mx/Prote%C3%ADna-grillo-BeCrickets-Alimento-Chocolate/dp/B07T93MBR7/ref=sr_1_2_sspa?_mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=insectos+alimentos%2B&qid=1585170560&s=hpc&sr=1-2-spons&swrs=34A5E8AB9A328FF1B6D6C19923E5C6DA&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGimaWVyPUEzMilhTU0RFWVJVERNJmVuY3J5cHRIZElkPUExMDA3MTI4MzBaNOo4TFpXRFPVSSZlbnNyeXB0ZWRBZElkPUeWJyY3OTcwMUhBVzJlU0ROSlPMSZ3aWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZlY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWVrPXRydWU=

*Consultado en marzo 2020

2.2. Generalidades de *Sphenarium purpurascens* y su calidad nutricional

Sphenarium purpurascens Charpentier también conocido como "saltamontes" o "saltamontes rojo" o comúnmente llamado "chapulín", pertenece al orden de ortópteros y a la familia Pyrgomorphidae. El desarrollo de este insecto consiste en una etapa como huevo, cinco como ninfa y una etapa final como adulto, en la cual presentan una cabeza triangular, un fastigio cefálico dividido simétricamente por una línea, su cuerpo es robusto y fusiforme; el pronoto es convexo y tiene forma de silla de montar, éste presenta una fina quilla longitudinal y muestra alas vestigiales que llegan a alcanzar los tímpanos del primer segmento abdominal. La especie muestra variaciones en el color del cuerpo, que puede ser verde, negro, gris o marrón, aparentemente como resultado al tipo de vegetación de la que se alimentan; mayor frecuencia de chapulines verdes se registran cuando la vegetación aún está fresca y verde, mientras que conforme termina la temporada de lluvias el ambiente se torna seco y frío, provocando la desecación de la vegetación lo cual puede relacionarse con el aumento de la frecuencia de los chapulines cafés. También presentan una marcada diferencia sexual; en los machos predomina el color negro, mientras que en las hembras predomina la coloración café y la cabeza es más grande, las antenas más cortas y los ojos más pequeños; también presentan tórax más ancho y el fémur de las patas son más delgados (Cueva-Del Castillo y Cano-Santana, 2001; Castellanos-Vargas y Cano-Santana, 2009).

En cuanto a su valor nutricional, *S. purpurascens* contiene entre un 50% hasta un 75% de proteína, presentando todos los aminoácidos esenciales y en mayor cantidad que los contenidos en la carne y huevo, además de que cumple con los requisitos establecidos para adultos y niños en edad preescolar, lo cual se muestra en la Tabla 2, como recopilación de investigaciones anteriores sobre la composición de aminoácidos de *S. purpurascens* (Rodríguez-Miranda et al.,

2019). El aporte nutricional no es solo por un perfil completo de aminoácidos, sino que también por la alta cantidad de proteína que provee que puede superar la proporcionada por cualquier otra fuente proteica. Esto se debe a que la principal fuente de alimentación de los insectos son las plantas y tienen una gran eficiencia en su conversión, aprovechando al máximo los nutrientes de su entorno para convertirlos en proteínas, vitaminas y grasas a un ritmo muy superior que otros animales (Ramos-Elorduy, 2006). Un estudio de Ibarra-Herrera et al. (2020) indicó que *Sphenarium purpurascens* alimentados con alfalfa (*Medicago sativa*) tenían un incremento de 10% en el índice de aminoácidos esenciales comparado con chapulines alimentados con maíz (*Zea mays*).

Tabla 2. Composición de aminoácidos de *S. purpurascens*, con la contribución de carne y huevos, junto con requerimientos de adultos y preescolares (Rodríguez-Miranda et al., 2019)

Aminoácido esencial	<i>S. purpurascens</i>				Carne	Huevos	Requerimientos	
							de adultos	de preescolares
Isoleucina	4.2	4.2	4.2	4.5	1.6	2.4	1.4	2.8
Leucina	8.9	8.5	8.9	8.7	4.2	4.1	2.7	6.6
Lisina	5.7	5.7	5.7	5.7	4.5	3.3	2.1	5.8
Metionina	2.5	4.2	2.5	Ne	1.6	1.5	Ne	Ne
Cisteína	1.8	Ne	1.8	Ne	0.6	1.5	Ne	Ne
Metionina + Cisteína	Ne	Ne	Ne	2.9	2.6	2.6	1.0	2.5
Fenilalanina	10.3	7.7	10.3	Ne	2.4	2.5	Ne	Ne
Tirosina	6.3	Ne	6.3	Ne	2.2	2.0	Ne	Ne
Fenilalanina + Tirosina	Ne	Ne	Ne	6.3	4.6	4.5	1.7	6.3
Treonina	3.1	3.9	3.1	3.9	2.5	2.1	1.0	3.4
Triptófano	0.7	0.6	0.7	0.6	0.2	0.8	0.3	1.1
Valina	5.7	5.6	5.7	5.7	2.0	3.0	1.8	3.5
Histidina	2.2	Ne	2.2	2.7	2.0	1.2	0.7	1.9
Metodo de analisis	HPLC	CEC	HPLC	HPLC				
Unidad de los valores	g/100g	g/16g de N	g/100g	g/16g de N		g/100g de proteína		

Ne: No examinado en el estudio, HPLC con estándar externo, CEC: cromatografía de intercambio catiónico por sus siglas en inglés.

S. purpurascens aporta una importante cantidad de grasa, de aproximadamente 11.0 g por cada 100 g de muestra seca, que es relevante

debido a que los insectos son fuente de ácidos grasos insaturados, proporcionando cantidades más altas que la carne de res, cerdo, cordero, pollo, pavo o pescado (Ramos-Elorduy et al., 1997). De igual forma es una fuente importante de minerales, aportando valores que van desde 2.5 a 3.0 g / 100 g de muestra y que son más altos en comparación con la contribución de minerales de carne de res (1.28 g / 100 g), pollo (9.97 g / 100 g) y pescado (2.13 g / 100 g) (Rodríguez-Miranda et al., 2019) haciendo de este insecto una opción muy favorable para la industria de alimentos.

2.3. Producción de harinas de insecto y elaboración de nuevos productos

Existe en la literatura diversas formas de realizar una harina de insecto. Gonzales et al. (2019) produjeron harinas de *Hermetia illucens*, *Acheta domestica* y *Tenebrio molitor* para la elaboración de panes, mediante una mezcla con harina de trigo, con una sustitución de máximo el 5% de harina de insecto para que la masa no perdiera sus propiedades reológicas, teniendo este punto máximo para que el torque medido en la masa fuese igual al control utilizado de 100% harina de trigo; para realizar las harinas de insectos fue a partir de larvas congeladas a -40°C y liofilizadas bajo condiciones de vacío de 8 mbar para luego ser molidas y almacenadas a -20°C hasta su uso. Para los panes resultantes se obtuvo un valor nutricional mejorado, aumentando la proteína de 1 a 3 g por cada 100 g de pan en base húmeda y la masa durante la mezcla tenía una menor adsorción de agua por lo que aumentaba su estabilidad.

Bußler et al. (2016) describen que para producir harinas de *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens* realizan un puré de larvas congeladas con agua destilada en proporción 1:1 a 4 °C, seguido de un proceso de congelación a -20 °C, liofilización y molienda, seguido por un proceso de desgrasado para comparar

las características fisicoquímicas de la harina antes y después de este último paso. Concluyendo que el desgrasado es un paso importante que permite mejorar la molienda de la harina debido a que estas especies contienen una alta cantidad de grasa en su estado larvario, con respecto al color mencionan que el desgrasado proporcione un color menos amarronado y aumento la concentración de proteínas en aproximadamente 10 gramos por cada gramo de peso seco, en cuanto a las propiedades tecnofuncionales no hubo diferencia significativa en la capacidad de retención de agua y aceite.

Zielińska et al. (2018) realizaron harinas de *Grylodes sigillatus*, *Schistocerca gregaria* y *Tenebrio molitor* dejando los insectos en ayuno por 48 h para limpiar su tracto gastrointestinal de cualquier comida residual para luego ser congelados, liofilizados y posteriormente molidos. Los resultados demostraron que los insectos tienen una alta capacidad de retención de agua y aceite, alta actividad de emulsión y moderada capacidad de espuma y estabilidad de la espuma; por lo tanto, pueden usarse en formulaciones alimenticias que requieren estas propiedades.

Todos estos autores antes mencionados analizaron las propiedades fisicoquímicas de las harinas las cuales se resumen en la Tabla 3. Incluyendo los resultados de Torruco-Uco et al. (2018) que evaluaron las propiedades fisicoquímicas de *Sphenarium purpurascens* y que para fines prácticos de la investigación utilizó los saltamontes secos a 55 ° C por 24 h y molidos en un molino de café hasta obtener un tamaño de partícula uniforme de 0,420 mm (no. malla 40). Sugiriendo el uso de saltamontes para aumentar el valor nutricional de los alimentos y recomendando su uso para la producción de salsas y aderezos o para obtener gelatina y aceite por su contenido de ácidos grasos poli-insaturados.

De acuerdo a lo observado en la Tabla 3 se puede concluir que la fuente de enriquecimiento proteico por parte de los insectos triplica a lo aportado por la harina de trigo, aunque también aumenta considerablemente la cantidad de

grasa, sobre todo en productos hechos con larvas, se conoce que los insectos son ricos en ácidos grasos insaturados, por lo que resulta favorable nutricionalmente (Rodríguez-Miranda et al., 2019) y considerando el uso de *S. purpurascens* en su estadio adulto, el aumento de lípidos es menor. La aportación de carbohidratos es muy reducida lo que hace apropiado su uso favorable para la alimentación.

Por otro lado, Alam et al. (2019) reportan el uso de extrusión caliente para producir harina de larvas de *Hermetia illucens*, utilizados solos y junto con harina de maíz en proporciones 1:1 y 1:3. La harina extruida de insectos, mostró un mayor índice de solubilidad en agua y menor absorción de agua y aceite en comparación con los extruidos de harina de maíz. Aunque el trabajo mostró la posibilidad de utilizar harina de insectos elaborada por extrusión de fusión en caliente como fuente de proteínas, surgieron algunas preocupaciones considerando cómo se alimentaron los insectos y la carga microbiana que estos puedan presentar. Comparando los resultados obtenidos contra Bußler et al. (2016) con el mismo insecto hay una diferencia de aproximadamente el 11 % de aumento al usar la tecnología de extrusión, lo que puede dar pie a ser una opción viable para la producción de harinas.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de harinas de insectos.

Harina	Contenido de proteína %	quitina g/100g Materia seca	Contenido de grasa %	Contenido de carbohidratos %	Contenido de humedad %	Fuente
Trigo	12.69 ± 0.60	/	1.19 ± 0.02	85.57 ± 0.58	31.73 ± 1.37	
<i>H. illucens</i>	45.09 ± 0.82	3.52 ± 0.22	35.82 ± 0.66	14.84 ± 0.35		
*en panes de harina de trigo con sustitución de 5%					35.10 ± 1.24	
<i>A. domestica</i>	56.58 ± 0.86	4.46 ± 0.44	27.08 ± 0.72	12.33 ± 0.41		
*en panes de harina de trigo con sustitución de 5%					30.89 ± 1.15	
<i>T. molitor</i>	48.82 ± 0.76	4.73 ± 0.51	30.69 ± 0.80	16.24 ± 0.63		
*en panes de harina de trigo con sustitución de 5%					32.06 ± 1.15	Gonzales, Garzón y Rosell, (2019)
<i>T. molitor</i>	57.8 ± 1.2					
<i>H. illucens</i>	34.7 ± 0.2					Bußler, et al (2016)
<i>T. molitor</i>	52.35		24.7	2.2		
<i>G. sigillatus</i>	70.0		18.23	0.1		
<i>S. gregaria</i>	76.0		12.97	1.7		Zielińska, Karaś y Baraniak (2018)
<i>Sphenarium purpurascens</i> Ch.	53.57 ± 0.68		8.98 ± 0.43		8.40 ± 0.14	Torruco-Uco, et al (2018)
Mezclas extruidas						
100 % <i>H. illucens</i>	46 ± 2		28 ± 2	14	33.9 ± 1.8	
50% Maíz 50 % <i>H. illucens</i>					31.1 ± 0.8	
75% Maíz 25 % <i>H. illucens</i>					27.4 ± 1.3	
100 % Maíz					25.9 ± 0.9	Alam, Scampicchio, Angeli, y Ferrentino (2019)

Harina	Capacidad de retención de agua g/g MS	Capacidad de retención de aceite g/g MS	Capacidad espumante %	Estabilidad de la espuma %	Actividad de la emulsión %	Estabilidad de la emulsión %	Fuente
<i>T. molitor</i>	0.8	0.6					
<i>H. illucens</i>	0.7	0.8					Bußler, et al (2016)
<i>T. molitor</i>	1.29 ± 0.19	2.18 ± 0.07	31.0 ± 1.41	26.0 ± 0.94	65.96 ± 1.5	27.59 ± 1.18	
<i>G. sigillatus</i>	2.34 ± 0.28	2.82 ± 0.08	41.0 ± 1.41	34.67 ± 2.82	62.0 ± 1.25	31.65 ± 0.92	
<i>S. gregaria</i>	2.18 ± 0.07	1.98 ± 0.16	22.33 ± 1.41	19.33 ± 0.94	69.17 ± 0.59	48.11 ± 0.57	Zielińska, Karaś y Baraniak (2018)
<i>Sphenarium purpurascens</i> Ch.	1.75	2.79	6.17 ± 0.76	7.13 ± 0.78	20.33		Torruco-Uco, et al (2018)
Mezclas extruidas							
100 % <i>H. illucens</i>	2.1 ± 0.3	1.3 ± 0.1	Viscosidad máxima Pa·s				
50% Maíz 50 % <i>H. illucens</i>	2.6 ± 0.1	1.1 ± 0.1	0.23 ± 0.01				
75% Maíz 25 % <i>H. illucens</i>	3.1 ± 0.1	1.3 ± 0.1	0.55 ± 0.06				
100 % Maíz	4.0 ± 0.1	2.2 ± 0.1	0.87 ± 0.08				Alam, Scampicchio, Angeli, y Ferrentino (2019)

% en base a materia seca; MS=Materia seca.

2.3.1. Extrusión para la elaboración de harinas

La palabra "extrusión" proviene del latín *extrudere* que describe la operación de forzar el paso de un material por medio de un espacio estrecho; se trata un proceso continuo que puede emplear procesos de alta temperatura durante cortos periodos, para la cocción y por lo tanto se puede utilizar para la desinfección y esterilización del producto y para la inactivación de toxinas resistentes al calor. Los materiales procesados en las extrusoras suelen ser sólidos húmedos o fluidos de masa de alta viscosidad que a medida que el tornillo gira se arrastra el material hacia la salida (Berk, 2018).

Las extrusoras cuentan con puertos para la inyección de vapor, agua y otros fluidos según sea necesario para la liberación de presión. Debido a la alta presión en la extrusora, el material húmedo se puede calentar a temperaturas muy superiores a 100 ° C (a veces hasta 180–200 ° C) (Berk, 2018). Lo cual puede propiciar la descontaminación microbiológica del material, teniendo en cuenta que para insectos como *Tenebrio molitor* un secado a 120°C por 15 minutos llega a eliminar por completo la carga microbiana que contiene por naturaleza (Bußler et al., 2016). Por otro lado, en condiciones severas de temperatura (Mayor a 180 ° C) o fuerzas de corte (RPM > 100) a baja humedad (Menor a 15%), especialmente en presencia de azúcares reductores como la glucosa, fructosa, maltosa o lactosa, propicia la pérdida extensa de lisina por lo que puede ocurrir daño estructural y pérdida del aporte nutricional (Berk, 2018).

La cocción por extrusión por lo regular produce una inactivación enzimática completa, lo que puede considerarse favorable ya que contribuye a la estabilidad de los alimentos extruidos y además puede ayudar a retrasar la oxidación de ácidos grasos insaturados (Cheftel 1986). Puesto que las características del sabor de los alimentos se asocian más estrechamente con los lípidos, que pueden ser liberados durante la cocción y que, por ejemplo, en panes que contenían harina de *H. illucens* se obtuvo algunos sabores desagradables debido a su composición alta en grasa (Gonzales et al., 2019).

Otra razón que origina una menor aceptación es el color marrón propiciado por de *S. purpurascens*, poniendo de ejemplo la producción de un bocadillo de harina de maíz adicionado con harina de chapulín en el que se obtuvo una aceptación por los consumidores en la adición de hasta 8.11 g de harina de chapulín por cada 100 g de mezcla con harina de maíz, (Cuj-Laines et al., 2018). Se identificó que *S. purpurascens* origina el color # 896a5c (Figura 2) al utilizarse como harina debido al color propio del chapulín y su cocción (Torruco-Uco et al., 2018). La extrusión puede originar un oscurecimiento atribuido al tratamiento térmico que acelera la reacción de Maillard. Sin embargo, cuando se usan tasas de alimentación más altas induce una reacción incompleta de Maillard que proporciona a las muestras un color más claro, en una harina 100 % *Hermetia illucens* la claridad, medida con un colorímetro, tiene un 23% al alimentar la extrusora a una velocidad de 0.05 kg / h y aumenta a un 30 % a una velocidad de 0.10 kg / h (Alam et al., 2019).

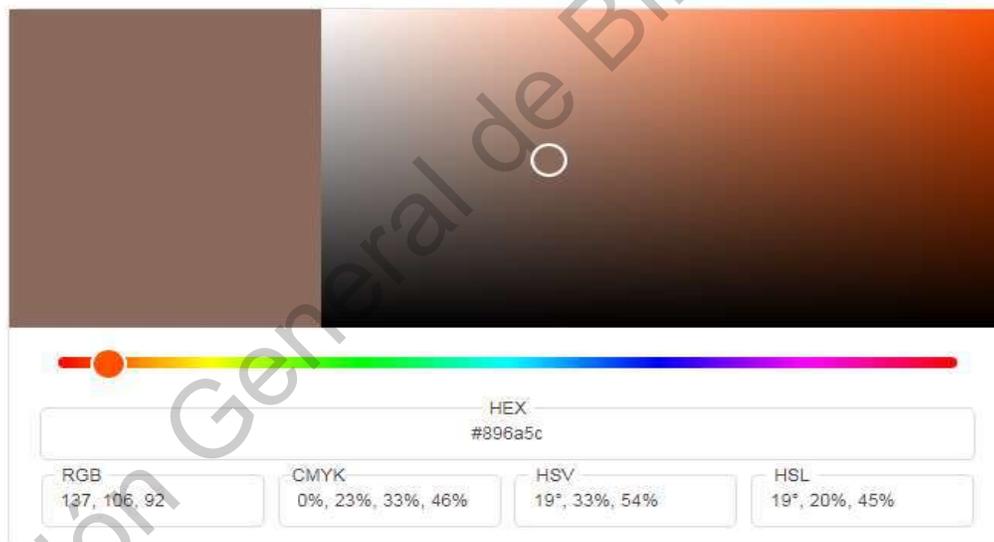


Figura 2. Determinación del color # 896a5c con ayuda de la herramienta de Google. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=color+%23+896a5c>

En cuanto a los efectos que tiene la extrusión para favorecer el aspecto nutricional, la alta cantidad de proteína de los insectos reduce la expansión y la porosidad de los extruidos y la cantidad de moléculas pequeñas solubilizadas en agua protegiendo así el producto de daño molecular (Igual et al.,2020).

Diversos estudios hechos para elaboración de extruidos incorporando mezclas de harinas de insectos con otros tipos de harina han sido propicios en mantener la alta cantidad de proteína proporcionada por los insectos; por ejemplo, Azzollini et al. (2018) analizan mezclas de harina de trigo adicionadas con *Tenebrio molitor*, en donde reportan una cantidad de proteína de 20.4 g / 100 g en base seca en una mezcla con 20 % de insecto contra 11.8 g /100 g base seca encontrado en el 100 % harina de trigo. Otro estudio de Igual et al. (2020) reportan mezclas de sémola de maíz adicionadas con *Acheta domesticus* en donde obtienen que con una adición de 15 % de insecto a la mezcla de harina se tiene una cantidad de 12.44 g/ 100g de proteína en base seca, la cual es casi el doble al encontrado en el extruido de 100% sémola de maíz que fue de 6,54 g /100 g en base seca.

En estudios de harina de lentejas, la extrusión favorece notablemente a las propiedades nutricionales de los alimentos, mostrando una mayor digestibilidad proteica al comparar productos extruidos contra productos sin extruir esto atribuido a la desnaturalización proteica, haciendo a las proteínas más accesibles a la acción de las proteasas, y la inactivación de factores antinutricionales que afectan a la digestión, como son los inhibidores de tripsina y quimiotripsina; esto podría ocurrir de igual forma en harina de insectos (Alam et al., 2015; Morales et al., 2015).

En cuanto a las propiedades funcionales como es la absorción de agua oscila entre 2.1 y 2.7 g / g base seca en harinas extruidas de *Hermetia illucens* el cual es menor al reportado en la harina de maíz (4.0 – 4.5 g / g base seca), mientras que el índice de absorción de aceite fue de 1.3 g / g base seca solo fue poco menor al 1.7 – 2.2 g/g reportado en la harina de maíz. El índice de solubilidad en agua tuvo una diferencia significativa al ser en la harina de insecto de 13.5 a 16.8 % contra 5.9 a 7.5 % en la harina de maíz, teniendo en cuenta que ésta aumentaba proporcional a la velocidad de alimentación de la extrusora (Alam et al., 2019).

También hay que tomar en cuenta que tanto la velocidad de alimentación, la humedad y temperatura de funcionamiento de la extrusora son claves importantes para la

textura que se desea obtener, pues una menor humedad en el proceso aumenta la resistencia al corte del producto final para muestras con alto contenido de proteínas como son los insectos (Smetana et al., 2018).

2.3.2. Molienda para la elaboración de harinas

La molienda es un paso determinante para obtener la harina. Alam et al. (2019) reportan que el extruido de *Hermetia illucens* resulta ser fibroso y frágil, lo que puede proporcionar una facilidad en el proceso de la molienda, aunque la morfología del gránulo de insectos extruidos también se puede ver afectada por la humedad en el proceso por lo que las condiciones de extrusión deberán analizarse (Smetana et al., 2018).

En cuanto al tamaño de partícula diversos autores utilizan un tamiz de malla entre 20 y 40, siendo un tamaño de partícula entre 0.2 a 0.4 mm el cual es de importancia pues podría determinar las propiedades funcionales de la harina (Torruco-Uco et al., 2019).

Un polvo ultrafino es propicio para evitar la hinchazón y aumenta la temperatura para una gelatinización lo que lo hace ideal en su uso para la elaboración de algunos alimentos como pastas (Wu et al., 2019).

2.4. Elaboración de pastas para sopas suplementadas con harina de Chapulín de la milpa *Sphenarium purpurascens*

Debido a las rutinas actuales las personas consumen la mayor parte de su tiempo en el trabajo, transporte y recreación, dejado un poco olvidado la nutrición al optar por alimentos llamados “fast food” o comida rápida; incluso estos alimentos son de consumo práctico para adultos mayores debido a la textura blanda de sopas preparadas y su fácil utilización por lo

que el agregar micro y macronutrientes resulta ser muy favorable para su nutrición (Krejcová et al., 2006).

Abdel-Haleem y Omran (2014) preparan una sopa que es suplementada con vegetales en polvo para su elaboración con la que concluyen la valiosa aportación para mejorar las características de nutrición y calidad tecnológica de la sopa resultante.

Trabajos como el de Farzana et al. (2017) analizan la forma crear una nueva sopa con otras fuentes de proteínas diferentes a las encontradas en el mercado como es la soja, moringa y champiñones, la cual tiene una aceptación similar a las cotidianas ingeridas por consumidores. Por lo que el mayor reto a enfrentar en la elaboración de una pasta para sopa con *Sphenarium purpurascens* sería la aceptación en el color, el cual se podría regular de acuerdo a la cantidad añadida en una mezcla con sémola de trigo.

Biró et al. (2019) se aventuran a realizar una pasta de trigo sarraceno enriquecida con polvo de gusano de seda, lo cual mejora sus parámetros nutricionales. Donde realizan un análisis de aceptación sensorial, y denotan en cuanto al sabor, que hay consumidores que no les es de su agrado el sabor del trigo con el que se realizan las pastas y con respecto a una combinación de sabores llegan a preferir una formulación que contenga una sustitución del 10 % insecto, siendo ésta la mayor proporción estudiada. Debido al color naturalmente más oscuro y a la buena composición nutricional, las pastas secas son muy adecuadas para enriquecerlas con insectos.

2.5. Vida de anaquel y análisis sensorial

La vida de anaquel de un alimento representa aquel período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo manteniendo las características sensoriales, funcionales y nutricionales aceptables en su empaque final y condiciones normales de almacenamiento (Valencia y Millán, 2009). Para el caso de una harina, el empaque más

usado para su conservación son bolsas herméticas de polietileno de baja densidad o polipropileno y almacenadas a temperatura ambiente (25°C) (Agrahar-Murugkar y Jha, 2011).

En cuanto a la formulación de una pasta, será necesario un análisis de aceptabilidad para conocer la cantidad de sustitución o presencia de una harina de *Sphenarium purpurascens* se pudiera hacer en el producto final, puesto que el color y textura son puntos importantes para el consumidor (Cuj-Laines et al., 2018). Al igual que su respectivo estudio de vida de anaquel en donde las condiciones de almacenamiento son similares a las de harinas (Biró et al., 2019).

2.6. Retos por enfrentar en el consumo de alimentos a base de insectos

Con respecto a los problemas de seguridad microbiana, la aplicación de tratamientos térmicos en la producción resulta ser muy favorable para garantizar la inocuidad del producto y mantener una alta calidad nutricional en el alimento (Bußler et al., 2016).

Aunque no se trata únicamente de la inocuidad microbiana, ya que, una de las limitantes a su consumo se asocia a la presencia de compuestos alérgenos, entre ellos la quitina proveniente del exoesqueleto del propio artrópodo, poniendo en riesgo la salud del consumidor sensible a dicho compuesto (Patel et al., 2019). La quitina tiene propiedades inmunomoduladoras que puede tener consecuencias para la expresión de reacciones alérgicas a otros alérgenos como la tropomiosina, que pertenece a una familia de proteínas altamente conservadas, con múltiples isoformas (debido a variaciones de aminoácidos), es termoestable y se encuentra tanto en las células musculares como en las no musculares de todas las especies del reino animal. Existe un estudio que sugiere que los pacientes que son alérgicos a los crustáceos y cucarachas corren el riesgo de anafilaxia al comer saltamontes y chapulines debido a la presencia de un anticuerpo IgE específico de tropomiosina. Sin embargo, un dictamen de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

en 2010 declaró que la ingesta de hasta 5 g de quitina de los crustáceos no es de preocupación de salud pública (EFSA, 2015; Sokol, 2020).

Por otro lado, con respecto a la nutrición, aún es desconocida la digestibilidad que se tiene de la mayoría de los insectos comestibles. Un estudio evaluó la digestibilidad *in vitro* de una especie de grillo (*Henicus whellani*) y un escarabajo (*Eulepida mashona*) sometiéndolos a ebullición y/o asado, presentando una digestibilidad aproximadamente del 30 % independiente del tipo de cocción que comparándolo con la digestibilidad de la proteína de suero de leche que es del 35 % indica que el uso de insectos comestibles es factible como fuente de proteínas (Manditsera et al., 2019).

2.7. Normatividad para alimentos a base de insectos

Debido a que el consumo de insectos es una práctica tradicional y no es común encontrarlos debidamente empaquetados para comercializarse o importarse, no existe una legislación en la mayoría de los países que regule su fabricación y venta (The Blog of Incredible Foods, 2016). Mientras se produzcan, empaqueten, almacenen y envíen insectos de forma limpia y saludable, la FDA permite la producción y venta, únicamente debe cumplir con las consideraciones generales actuales, de conformidad con la Ley de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (Sec. 201 f); aunque, en normativas de otros productos alimenticios como harina de trigo, lúpulo o productos del maíz, es considerado un defecto alimentario la contaminación de insectos, que aunque son consideradas como impurezas, no resultan en un daño para la salud (FAO, 2010).

Para la Unión Europea el Reglamento 853/2004 establece normas generales de higiene en los alimentos y se tiene una iniciativa para anexar una nueva sección en el anexo III sobre insectos para así tener reglas de higiene específicas para insectos destinados al consumo humano. Para finales de 2015 ya se había adaptado al reglamento sobre nuevos alimentos la aclaración de que los animales enteros tales como los insectos son alimentos

nuevos bajo esta regulación. Además de acuerdo al reglamento 767/2009, se establece que la alimentación de animales debe ser segura y, al incluir en el catálogo 68/2013 a los vertebrados terrestres, hace posible que la proteína de insecto sea usada como piensos (alimentación animal), al igual que en Canadá donde no está restringido el uso de alimentos a base de insectos dirigidos para mascotas (Lähteenmäki-Uutela et al., 2017).

El gobierno de Tailandia establece una norma para las buenas prácticas agrícolas de una granja de grillos, pudiendo así obtener un mejor control en la producción y haciendo seguro el consumo por una alta calidad de producto al asegurar el manejo y mantenimiento de la granja. Esta norma aplica únicamente para las especies *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus mitratus* y *Acheta domesticus* (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2017).

Sin embargo, en México se encuentra aún muy atrasado al no contar con alguna regulación en el ámbito de insectos comestibles, debido a que culturalmente sigue siendo una práctica muy tradicional del sur del país y que ha propiciado una sobreexplotación al no tener control en la recolección de insectos y provocando el riesgo de extinción de algunas especies, por lo que es de suma importancia una regulación que ayude a la protección del medio ambiente y abra paso a una mejor comercialización de este producto (Lähteenmäki-Uutela et al., 2017). Actualmente se encuentra la NOM-247-SSA1-2008 que establece las disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales y métodos de prueba para harinas únicamente provenientes de cereales, sémolas o semolinas. Y la norma NMX-F-365-S-1980 que establece el método para determinar la presencia de materia extraña tal como fragmentos de insecto en harinas, por lo que se debería determinar su aplicabilidad a harinas que son hechas a base de insectos.

3. JUSTIFICACIÓN

La entomofagia es una práctica que puede contribuir a conseguir una seguridad alimentaria al ser una fuente de alimentos nutritivos obtenidos de forma amigable con el medio ambiente. En México, el consumo de insectos es una práctica cultural ya arraigada, sin embargo, no es generalizada y se limita principalmente al sur del país, dando paso a que con el uso de tecnología alimentaria se puedan crear productos que sean de agrado para la mayoría de la población. Debido a la preferencia que existe por evitar consumir insectos enteros, la obtención de una harina a partir de *Sphenarium purpurascens* resulta ser factible para su introducción al mercado de productos comestibles a base de insectos en México. Para su obtención se puede optar por un proceso de extrusión que es usado actualmente para la obtención de alimentos funcionales el cual ofrece oportunidades de mejora en las características morfológicas y tecno-funcionales de los materiales procesados, como el índice de absorción y solubilidad en agua; así como evita oscurecimientos del color en algunas harinas. Pudiendo mejorar la aceptabilidad del polvo de chapulín al no mostrar un color muy oscuro al ser cocinada. (Obteniendo entonces harinas con calidad nutrimental que pueden servir de materia prima para aportar un enriquecimiento de proteínas en nuevas formulaciones de alimentos. Como la combinación de harinas de trigo incorporando polvo de chapulín para vía de mejora en su contenido nutrimental, en un alimento utilizado ampliamente como parte de los alimentos de cocción rápida “*ready-to -eat*” como lo son las pastas.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener polvos de chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens*) por medio de la tecnología de extrusión, con aceptabilidad organoléptica, manteniendo en el tiempo sus propiedades fisicoquímicas y calidad nutrimental para su inclusión en un producto reformulado.

Objetivos específicos

1. Evaluar las condiciones de extrusión para la producción de polvos de chapulín de alto valor nutrimental y aceptabilidad organoléptica.
2. Evaluar los efectos del proceso de extrusión en las propiedades tecno-funcionales del polvo producido.
3. Determinar la estabilidad del polvo de chapulín resultante en el tiempo durante su almacenamiento.
4. Desarrollar una pasta para sopa incorporando harina de chapulín de la milpa como una vía de mejorar su perfil nutrimental con aceptabilidad organoléptica.

5. METODOLOGÍA

5.1 Elaboración de harinas por medio de extrusión

Se adquirieron los saltamontes *Sphenarium purpurascens* en su estadio adulto ya sin vida para su procesamiento provenientes de una granja especializada de la ciudad de México, México. Antes de su sacrificio fueron puestos en ayuno por 24 horas y sometidos a un proceso de escaldado y congelado para su transporte. Antes de su utilización fueron descongelados en un horno a 40 ° C durante 24 horas y se molieron en un molinillo de café (KRUPS QX410011). Posteriormente, la humedad del polvo se ajustó al 20, 35 y 50% con agua destilada para ser procesada en la extrusora.

Se utilizó una extrusora que dispone de un tornillo cilíndrico de 40 cm de acero inoxidable 304 y diámetro exterior de 1 pulgada, con un motor de 5 Hp con reductor para una velocidad máxima de 70 rpm en el tornillo, dos zonas de calentamiento y un dado formadores de pellets de 1/8 (Figura 3).

Para analizar los efectos de los factores de extrusión sobre las características fisicoquímicas y de textura del producto, se realizó un diseño experimental factorial 2^3 con puntos al centro y una repetición en diferentes niveles de temperatura, humedad y velocidad de rotación de tornillo (rpm) para que, de este diseño, obtener las condiciones adecuadas en la producción de polvos extruidos de chapulín. Los factores evaluados se muestran en la Tabla 4. Posterior al proceso de extrusión, el material fue secado nuevamente en un horno a 40° C por 12 horas y molido hasta obtener un polvo fino que fue utilizado para los diferentes experimentos.



Figura 3. Extrusora perteneciente a la Universidad Autónoma de Querétaro. (a) Tornillo de acero (b) Motor (c) Tolva de alimentación (C) Lugar de ubicación de la tolva de alimentación (d) Dado formador de pellets (D) Ubicación del dado (e) Primer zona de calentamiento (f) Segunda zona de calentamiento.

Tabla 4. Factores evaluados en el proceso de extrusión.

Factores	-1	0	1
Temperatura	100 °C	115 °C	130 °C
Humedad	20 %	35 %	50 %
Velocidad de rotación de tornillo	10 rpm	20 rpm	30 rpm

Tomando a consideración que la temperatura a 100 ° C es reportada como la que tradicionalmente se usa para cocer insectos (Aragón-García, 2018) y una temperatura mínima de 120° C es indicada para reducir a 0 log la carga microbiana (Bußler et al., 2016). En cuanto a la velocidad de rotación de tornillo, aunque diversas publicaciones reportan

velocidades mayores a 100 rpm, se tomaron las máxima y mínima que el equipo permitió en pruebas piloto realizadas para este experimento. Como tercer factor que es la humedad se tomó a consideración los niveles que permitieron la fluidez del material sin causar obstrucción en las pruebas piloto realizadas.

Para el uso de la extrusora se utilizó harina de maíz nixtamalizado para limpieza del equipo al iniciar el proceso de extrusión, también como material que se mantuviera de flujo hasta obtener las condiciones adecuadas a estudiar, se colocó esta harina entre tratamientos para de igual forma eliminar remantes del material en el equipo antes de iniciar un nuevo tratamiento.

5.2. Parámetros fisicoquímicos a evaluar en el extruido

Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.

Se suspendió una muestra de 1 g de producto molido en 10 ml de agua a temperatura ambiente (25 °C) en un tubo de centrifuga, se sometió a homogenización en un agitador vórtex por 30 s. Posteriormente se centrifugo a 5000 rpm durante 20 minutos. Se vertió cuidadosamente el líquido sobrenadante en una cápsula de porcelana tarada, se pesó el gel restante y calculo el índice de absorción de agua a partir de su peso (Ecuación 1). Para el índice de solubilidad en agua, se calculó a partir de la cantidad de sólidos secos recuperados por evaporación del sobrenadante de la prueba de absorción de agua que se acaba de describir y se expresó como porcentaje (Ecuación 2) (Anderson et al.,1970; Rodríguez-Miranda et al., 2012).

Ecuación 1:

$$\text{Índice de absorción de agua} = \frac{\text{Peso de gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Ecuación 2:

$$\text{Índice de solubilidad en agua} = \frac{\text{Peso de sólidos solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Determinación de Humedad

La humedad se determinó por el método 925.09 descrito en la AOAC (2007). Se pesó 2 g de polvo en una caja de aluminio la cual previamente se secó por una hora a 100 °C y se enfrió en desecador durante una hora. Se colocó la caja con la muestra dentro de la estufa y se secó durante tres horas a 100 °C. Después se colocó en el desecador y se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente (aproximadamente una hora). Una vez que se enfrió, se pesó y reportó la pérdida de peso como humedad (Ecuación 3).

Ecuación 3:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(A - B) \times 100}{W}$$

En donde:

A = Peso de la caja con muestra en g

B = Peso de la caja con muestra desecada en g

W = Peso de la muestra en g

Determinación de color

El color de las muestras se midió usando un colorímetro CM-600D (Konica Minolta, Japón) registrando las coordenadas de L = Luminosidad/oscuridad, a = medida del verdor/enrojecimiento y b = grado de azul / amarillento. Las mediciones de color se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como valores medios y desviaciones estándar.

5.3. Análisis nutricional

La calidad nutricional se evaluó a partir de la muestra previamente seca y molida, este análisis determinó la calidad como materia prima a partir de sus componentes nutricionales. Se realizaron análisis de proteínas, lípidos y cenizas, y se calculó el contenido de carbohidratos (es decir, extractos libres de nitrógeno) por diferencia en la suma de los pesos expresado como porcentaje (Torruco-Uco et al., 2018).

Para la determinación de proteína se procedió de acuerdo con el método 920.87 de la AOAC (2007). El cual describe la digestión y destilación por el método Kjeldahl, el cual se realizó con la ayuda del equipo marca BUCHI. Se procedió a pesar 0.5 g de muestra y se colocaron en un tubo para su digestión junto con una pastilla de catalizador Kjeldahl marca Missouri (la cual contiene 4.98g K₂SO₄ y 0.02 g CuSO₄*5H₂O) y se le agregó 15 ml de ácido sulfúrico QP. El tubo se ubicó en el equipo de digestión, y se procedió al calentamiento de la muestra, proceso que duró aproximadamente 4 horas, después se dejó enfriar y se continuó con el proceso de destilación, en el cual el equipo adicionó 50 ml de NaOH al 40 % y el destilado se recibió en un matraz Erlenmeyer de 250 ml al cual se le añadió 25 ml de H₃BO₃ al 4 % conteniendo los indicadores rojo de metilo y verde de bromocresol. Finalmente, se procedió a titular manualmente con HCl 0.1 N valorado. El Nitrógeno presente en la muestra, expresado en por ciento se calculó mediante la siguiente fórmula (Ecuación 4):

Ecuación 4:

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.014 \times 100}{m}$$

En donde:

V = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación, en ml

N = Normalidad del ácido clorhídrico.

m = Masa de la muestra en g.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno.

El por ciento de proteínas se obtuvo multiplicando el por ciento de nitrógeno obtenido por el factor correspondiente, que en el caso de insectos se estima que el factor es 4.76 (Janssen et al., 2017).

Para la determinación del contenido de lípidos en las muestras, se procedió con la metodología 920.39C de la AOAC (2007). Que consistió en transferir 2.0 g de muestra en un cartucho de celulosa y se cubrió con una porción de algodón. Se colocó el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior se colocó un matraz (llevado previamente a peso constante por calentamiento a 110 °C). Se añadió éter en el matraz hasta 2/3 partes de éste. Se mantuvo la extracción en el equipo manteniendo el calentamiento del matraz hasta ebullición del éter y al recircular el agua en el refrigerante obtener una frecuencia de 2 gotas por segundo. Se efectuó la extracción durante 4 horas. Se suspendió el calentamiento, se quitó el matraz del extractor y se evaporó suavemente el éter del matraz a 100 °C hasta peso constante. Se calculó el contenido de lípidos o grasa usando la siguiente ecuación (Ecuación 5):

Ecuación 5:

$$\% \text{ de Grasa} = \frac{(P - p) \times 100}{m}$$

En donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.

p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

m = Masa en gramos de la muestra.

El contenido de cenizas se determinó por el método 923.03 descrito en la AOAC (2007). Se colocó en un crisol a masa constante, 2 g de muestra por analizar; el crisol con muestra se colocó en una parrilla y se quemó lentamente el material hasta que ya no desprendiera humos, evitando que se proyectara fuera del crisol. Se llevó el crisol a una

mufla a 550 °C durante 4 horas para su calcinación completa. Se dejó enfriar en la mufla, para luego ser transferido al desecador para su completo enfriamiento y se determinó la masa del crisol con cenizas. Se calculó el porcentaje de cenizas con la siguiente fórmula (Ecuación 6):

Ecuación 6:

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{(P - p) \times 100}{m}$$

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

m = Masa de la muestra en gramos.

5.4. Análisis microbiológico

Las muestras fueron analizadas en un laboratorio de tercería de acuerdo con las normativas mexicanas:

NOM-092-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.

5.5. Análisis de digestibilidad *in vitro*

Se prepararon soluciones madre de fluidos salivales concentrados simulados, gástricos y duodenales según el procedimiento de Abadía et al. (2013). Se pesaron 0.5 gramos de polvo de saltamontes en condiciones gástricas simuladas, se agregaron 10 ml de fluidos salivales y 80 ml de jugo gástrico simulado, las muestras se homogeneizaron manualmente por 1 minuto y se incubaron a 37 ° C por 2 h. A continuación, las muestras se centrifugaron a 6000 rpm durante 5 minutos para exponerlas a condiciones intestinales simuladas. Se decantó el sobrenadante; se agregaron 3 ml del sobrenadante recién decantado y 27 ml de jugo intestinal simulado al precipitado resultante de la centrifugación. Las muestras se colocaron a 37 ° C durante 4 horas. Se realizó la digestión y se determinó la cantidad inicial y final de proteínas en la muestra de acuerdo con el método descrito en la sección 5.3.

5.6. Estabilidad del polvo seleccionado

Para determinar la vida de anaquel, el polvo extruido se almacenó al vacío en bolsa de polipropileno a temperatura ambiente y en condiciones aceleradas a una temperatura de 40 °C; a las cuales se determinó humedad, color y índice de peróxidos cada 15 días durante 90 días (Agrahar-Murugkar y Jha, 2011).

Para el análisis de humedad y color se procedió de acuerdo con lo especificado en la sección 5.2 y para el análisis de índice de peróxidos se obtuvo la grasa del material mediante una extracción a temperatura ambiente, en donde se colocó 2 partes de éter de petróleo por cada parte de polvo de la muestra a analizar, se realizó una agitación continua por tres minutos para luego ser filtrado en un filtro Whatman 4 y se procedió de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-154-SCFI-2010.

5.7. Elaboración de una pasta para sopa incorporando el polvo seleccionado

Al obtener un polvo extruido de *Sphenarium purpurascens* con las propiedades de absorción de agua e índice de solubilidad de agua apropiadas para una pasta, se mezclaron los ingredientes en las siguientes proporciones:

95% Sémola de trigo 5% *Sphenarium purpurascens*

90% Sémola de trigo 10% *Sphenarium purpurascens*

85% Sémola de trigo 15% *Sphenarium purpurascens*

Y un control de 100% sémola de trigo.

Posteriormente los ingredientes se amasaron durante 10 minutos. Usando 50ml de agua por cada 100g totales de harina mezclada para el amasado. Con ayuda de un rodillo se realizaron fideos anchos del tamaño de 50 mm de largo y 1 mm de espesor (Biró et al., 2019). Se realizó el proceso de secado a 80 ° C para obtener una pasta con una humedad menor a 14 % indicado por la NMX-F-023-S-1980.

Siguiendo las directrices de la NMX-F-023-S-1980. Se analizarán proteína, grasas y cenizas de acuerdo con lo descrito en la sección 5.2.

5.8. Evaluación sensorial y aceptabilidad de las pastas

Para determinar la aceptabilidad de pastas para sopa se evaluaron organolépticamente después de disolverlas en agua caliente (10 g pasta / 65 ml de agua) por sus características sensoriales, es decir, sabor, color, grosor, apariencia y aceptabilidad general. La evaluación fue realizada por panelistas no entrenados (Abdel-Haleem y Omran, 2014), adultos de entre

20 a 60 años, pertenecientes a la Universidad Autónoma de Querétaro; que no presentaban alergia a crustáceos ni enfermedad celiaca.

Las pruebas microbiológicas para asegurar su inocuidad se realizaron de acuerdo con lo indicado en la metodología de este protocolo y el análisis sensorial se llevó a cabo en el comedor de posgrado perteneciente a la Universidad Autónoma de Querétaro, ubicado en el mismo centro universitario. Se realizó en una sola sesión, el 01 de julio de 2021.

5.9. Análisis estadístico

Los tratamientos de extrusión se llevaron a cabo de forma completamente aleatoria, para el análisis de los datos de las propiedades tecno-funcionales de los polvos extrudidos se aplicó una ANOVA y se realizó una comparación de medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey. Todas las mediciones se llevaron a cabo como experimentos independientes por duplicado. Para el análisis de la caracterización fisicoquímica se realizaron por triplicado y se expresaron como la media \pm la desviación estándar como medida de dispersión de los datos.

Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico R-Project.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Efecto de la extrusión en el polvo de *Sphenarium purpurascens*

En el análisis del índice de absorción de agua (IAA) de los extruidos, se observa que al aumentar la temperatura y disminuir los rpm se obtiene una mayor variación en los resultados. Implicando una menor variación entre resultados en las condiciones de 100 °C, humedad (H) de 20 % y 10 rpm, así como la combinación de 115 °C, 35 % H y 20 rpm., con un aumento relativo del IAA en la primera condición, como se observa en la Figura 4. Con respecto a la solubilidad en agua (ISA), la variación es en todos los tratamientos, sin embargo, las mejores condiciones con menor variación fueron 100 °C, 50 % H y 30 rpm y 130 °C, 20 % H y 30 rpm, sin embargo, no hubo diferencia significativa en las variables de respuesta con respecto al control, como se observa en la Figura 5. En cuanto a la luminosidad del color (Figura 6), aunque la condición con menor variabilidad fue la de menor luminosidad, se decidió utilizar esta condición 100 °C, 20 % H y 10 rpm por ser la condición más estable en los resultados ya que la prueba estadística no es confiable debido a las variaciones inconsistentes de los resultados se opta por decidir la condiciones con menos variación encada una de las respuestas analizadas, ya que la variabilidad se debe en gran parte al diseño del equipo el cual no permite una salida de todo el material que ingresa, manteniendo en su interior remanentes del material usado para la limpieza del equipo al inicio de cada uso y entre tratamientos, provocando que este origine cambios en las propiedades del material resultante al no ser un producto 100 % de chapulín, indicando que una respuesta con menor variabilidad indicaría el no encontrarse contaminación de otro material ingresado en el quipo y se tendría un material puro de chapulín y considerando a Peressini et al. (2020) que una menor absorción de agua refleja una menor elasticidad, se decide utilizar la condición que mejore esta propiedad; por lo tanto la condición 100 °C, 20 % H y 10 rpm fue considerada como la las mejor posible en el equipo utilizado para la producción del polvo extruido, teniendo como resultados promedio IAA de $3.3 \text{ g/g} \pm 0.0$, ISA de $8.4 \% \pm 1.1$ y luminosidad de $39.5\% \pm 0.5$, comparado con la materia prima que tuvo un

IAA de $3.5 \text{ g/g} \pm 0.1$, ISA de $9.8\% \pm 0.6$ y luminosidad de $43.8\% \pm 0.5$, por tanto, debido al proceso de extrusión del polvo de chapulín puede ocurrir cambios en las estructuras de proteínas y lípidos cuando se someten a este proceso sin que se produzcan cambios en las propiedades tecno-funcionales del polvo.

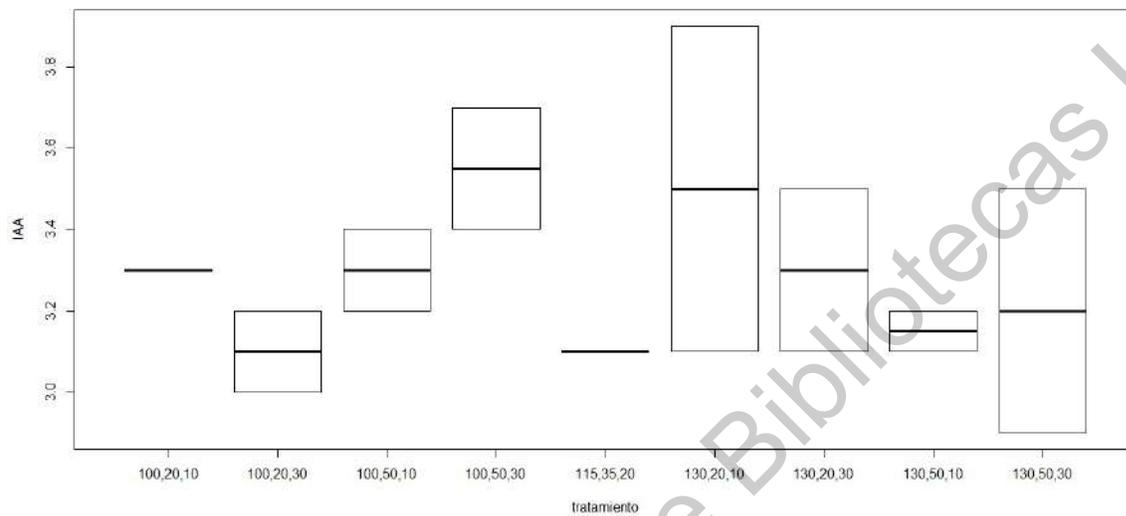


Figura 4. Efectos del tratamiento de extrusión sobre el índice de absorción de agua. Los valores representan el promedio ($n=3$) del tratamiento y su réplica \pm DE. Los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.682$).

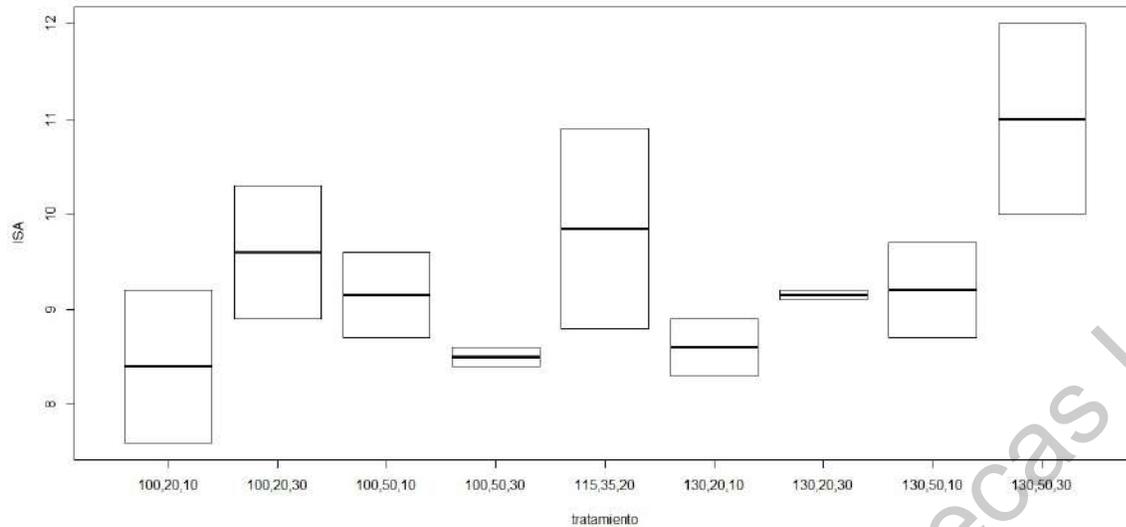


Figura 5. Efectos del tratamiento de extrusión sobre el índice de solubilidad en agua. Los valores representan el promedio ($n=3$) del tratamiento y su réplica \pm DE. Los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.259$).

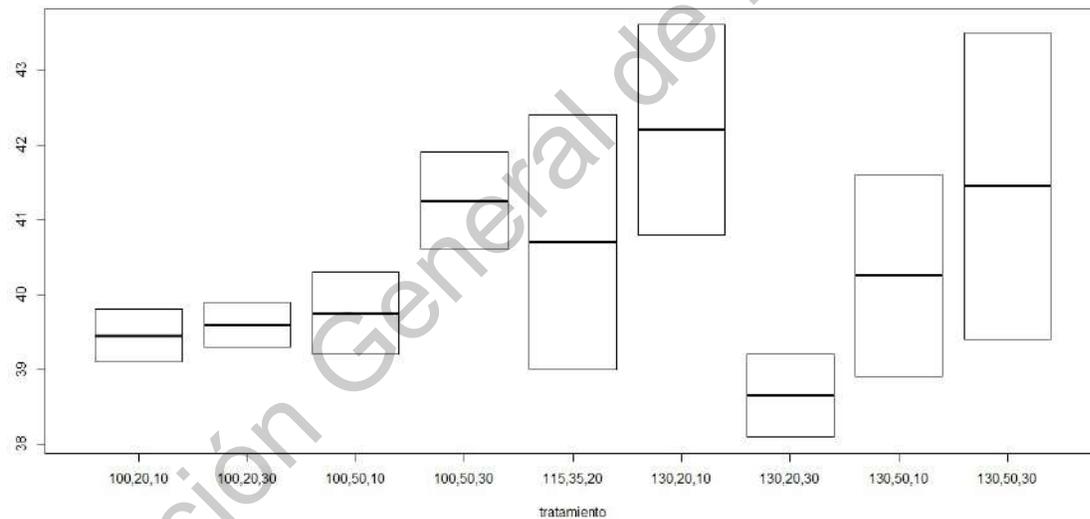


Figura 6. Efectos del tratamiento de extrusión sobre la luminosidad del color. Los valores representan el promedio ($n=3$) del tratamiento y su réplica \pm DE. Los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.525$).

Generalmente los cambios observables en las propiedades tecno funcionales, de acuerdo con Patel et al. (2016) como lo es el índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua son provocados por la presencia de almidón presente en harinas de

maíz o trigo, provocando una gelatinización de las moléculas y el polvo de chapulín al no contener almidón se podría suponer que los cambios observados en los resultados y que originan la gran variabilidad de estos se debe a la presencia de la mezcla con remanentes de la harina de maíz nixtamalizado que se usa en antes de cada tratamiento; por lo que las condiciones que no presentan variabilidad serían las condiciones que no presentan una contaminación con este material y se estaría obteniendo un material 100 % de chapulín.

6.2. Contenido nutrimental

La materia prima presentó una cantidad de grasa del 11.7 % \pm 0.3, proteína del 67.7 % \pm 1.2, cenizas del 3.1 % \pm 0.5 y carbohidratos calculados por diferencia de 17.4 %, datos similares a los reportados previamente por Rumpold et al. (2013) y Torruco-Uco et al. (2018) en su análisis nutrimental como se puede observar en la Tabla 5. El extruido de la condición seleccionada resultó en una cantidad de grasa del 11.0 % \pm 0.5, proteína del 65.6 % \pm 0.2, cenizas del 2.6 % \pm 0.1 y carbohidratos del 20.8 %.

Tabla 5. Comparación de resultados de análisis nutricional

	MP	Polvo extruido	Rumpold et al., 2013	Torruco-Uco et al., 2018
Grasa	11.7% +/- 0.3	11.0% +/-0.5	10.80%	8.98%
Proteína	67.7% +/-1.2	65.6% +/-0.2	65.20%	53.57%
Carbohidratos	17.40%	20.8%.	11.63%	26.62%
Cenizas	3.1% +/-0.5	2.6% +/-0.1	NR	1.42%

NR: No reportado. Carbohidratos calculados por diferencia como compuestos libres de nitrógeno.

El proceso de cocción de los insectos interviene en la cantidad de proteína que se puede obtener al finalizar el proceso, por ejemplo, en el estudio realizado por Manditsera et al. (2019) se observa que al ser hervidos se pierden proteínas por medio de lixiviación en el agua; por lo que, observar que después de la extrusión se mantenga la cantidad de proteínas que se tiene en la materia prima indica un proceso que puede mantener su contenido nutricional después de ser procesada.

En el análisis de quitina, el material crudo dio un resultado del 8.44 % \pm 0.54 y el extruido del 7.05 % \pm 0.11 exponiendo una pequeña reducción en el porcentaje del alérgeno. Posiblemente debido a una hidrólisis de este carbohidrato cuando se somete a la temperatura y presión del proceso de extrusión.

6.3. Análisis microbiológico

Se realizó el análisis microbiológico del polvo de chapulín seleccionado y se observó una disminución en la cantidad de microorganismos encontradas en las muestras extruidas en comparación con la materia prima sin extruir, los datos se pueden observar en la Tabla 6. Teniendo en consideración que se encontró un crecimiento de mohos en los medios especializados para coliformes totales, esto pudo originar una disminución en el crecimiento de bacterias. Sin embargo, el calor suministrado por el proceso de extrusión es suficiente para ofrecer una reducción en la cantidad de microorganismos encontrados en el polvo y cumpliendo con la norma de buenas prácticas de la Unión europea para la producción de alimentos a base de insectos (IPIFF, 2019), la cual estipula un límite de 10,000 UFC/g de bacterias aerobias y que ésta se encuentre libre de patógenos.

Tabla 6. Resultados del análisis microbiológico del polvo seleccionado.

MO	MP (UFC/g)	Extruido (UFC/g)
Bac. aerobias	21,233	4,200
Coliformes totales	333*	1,830
Mohos	45,667	2,810

*Presencia de mohos. Los resultados se realizaron de acuerdo con la NOM-092-SSA1-1994 y NOM-111-SSA1-1994.

En cuanto a la pasta preparada con la finalidad de realizar la prueba sensorial de aceptabilidad, también se le realizó un análisis microbiológico, resultados que se presentan en la Tabla 7, cumpliendo con las especificaciones internacionales y mostrando la inocuidad del producto para poder ser consumida por los panelistas a evaluar la aceptabilidad de las pastas.

Tabla 7. Resultados del análisis microbiológico la pasta con una sustitución de 15% chapulín.

MO	Pasta
Bacterias aerobias	620 UFC/g
Coliformes totales	3.6 NMP/g
Mohos	<10 UFC/g
Levaduras	<10 UFC/g
E. coli	<3 NMP/g
Salmonella spp.	Ausente

Los resultados son reportados por el laboratorio LECRIMA perteneciente a la Universidad Autónoma de Querétaro.

Es de importancia buscar otras formas de descontaminación o reducción de microorganismos como pretratamiento, una recomendación de Bußler et al. (2016) es el uso de temperaturas más altas y tiempos más prolongados para la completa descontaminación del material; sin embargo, esto podría inducir cambios en solubilidad, estructura y composición de las proteínas contenida en el mismo. Sin embargo, es importante el buscar nuevas tecnologías que permitan un producto microbiológicamente seguro.

6.4. Análisis de digestibilidad *in vitro* del polvo seleccionado

El análisis proteico de los materiales antes de someterlos a una digestibilidad *in vitro* era de $67.7 \% \pm 1.2$ de proteína en la materia prima y $65.6 \% \pm 0.2$ en el material extruido, al finalizar el proceso de digestión se cuantificó nuevamente el contenido proteico del residuo resultando en $7.1 \% \pm 0.3$ y $6.5 \% \pm 0.3$ respectivamente. El análisis mostró una alta digestibilidad de las proteínas en la materia prima sin extruir con un 89.6 %, y comparada con el material extruido 90.1 %, el polvo de chapulín resultante no presenta una disminución en la digestibilidad de sus proteínas, haciendo de este proceso uno factible para su uso. La digestibilidad del material puede ser un indicador de calidad en el proceso térmico ya que disminuciones en la digestibilidad estarían indicando tratamientos térmicos poco controlados como se observan en el caso de las harinas de pescado (Au y Bidart, 1992).

En cuanto a los valores de digestibilidad, estos varían de acuerdo a la especie del insecto, aunque suelen ser valores altos pueden disminuir de acuerdo al proceso de cocción, un ejemplo es el experimento realizado por Manditsera et al. (2019) en donde el tostado de escarabajos *Eulepida mashona* no tuvo ningún efecto significativo sobre la digestibilidad de las proteínas de los escarabajos, mientras que para los grillos *Henicus whellani*, al procesarlos tanto hirviendo como tostado redujo significativamente la digestibilidad de las proteínas (en un 24,2 % y 24,7% respectivamente). Considerando que el proceso de extrusión no redujo la digestibilidad de las proteínas de chapulín, podría considerarse un proceso adecuado de cocción.

La alta digestibilidad del material proveniente de insectos es un indicador que es una fuente de proteína considerada con alto valor nutritivo, convirtiéndolo en un alimento muy completo y debido a que se puede encontrar en la naturaleza de forma abundante es una alternativa eficiente para su implementación en la dieta cotidiana. Sin embargo, la calidad proteica depende no solo de las cantidades de aminoácidos presentes, sino también de su biodisponibilidad, para la que actualmente aún se dispone de datos limitados para insectos.

Aun es importante explorar la digestibilidad biológica, considerada en la medición de la fracción de nitrógeno absorbido por medio de la diferencia entre lo ingerido y lo excretado por vía fecal para determinar la calidad de las proteínas ingeridas y el hecho que sean absorbidas y utilizadas por el organismo de la manera correcta (Bosch et al., 2016).

6.5. Estabilidad del polvo seleccionado

El almacenamiento a temperatura ambiente mostro un mínimo aumento de la humedad (Figura 7) con una curvatura al día 30 en donde inicialmente desciende y luego aumenta, sin embargo, la diferencia no fue mayor al 1.5% de humedad. En cambio, para el análisis de índice de peróxidos (Figura 8) la cinética muestra in un aumento repentido al día 45; ya que, el envase utilizado fue un sistema al vacío, se puede decir que la reacción es principalmente con el oxígeno remanente en el envase, por lo tanto, la variación observada en el día 45 es posible a diferentes cantidades de oxígeno remanente en las muestras analizadas. También se puede inferir que descartando la variación ocurrida el día 45, se tiene un aumento progresivo de la oxidación de lípidos, no mayor a 0.5 mEq/kg entre cada punto, proveniente del oxígeno remante en el envase o incluso indicando que el aumento se debiera a la acción de lipasas o alguna otra enzima catalizadora de la degradación de los compuestos del chapulín, sin embargo el aumento nunca fue mayor de 2 mEq / kg al final de los 90 días de almacenamiento lo que no indicaría un problema de rancidez ya que está en un valor muy por debajo de 30 mEq / kg, valor que se considera cuando la rancidez de un alimento es perceptible.

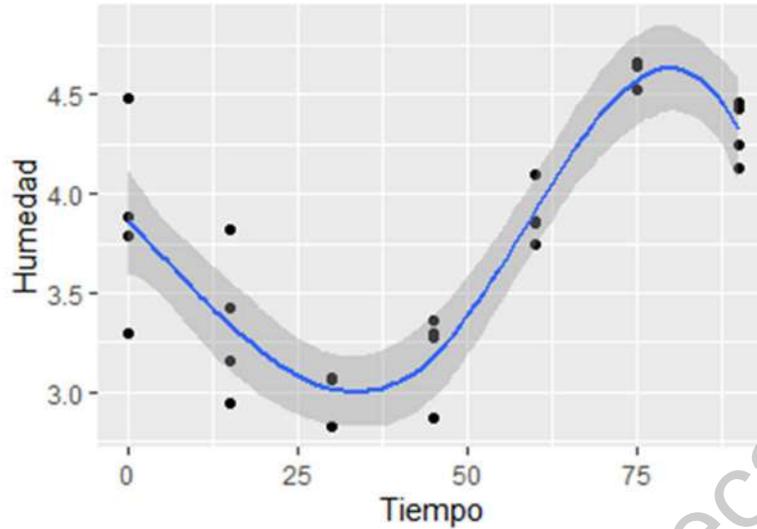


Figura 7. Cinética de la humedad a temperatura ambiente de almacenamiento.

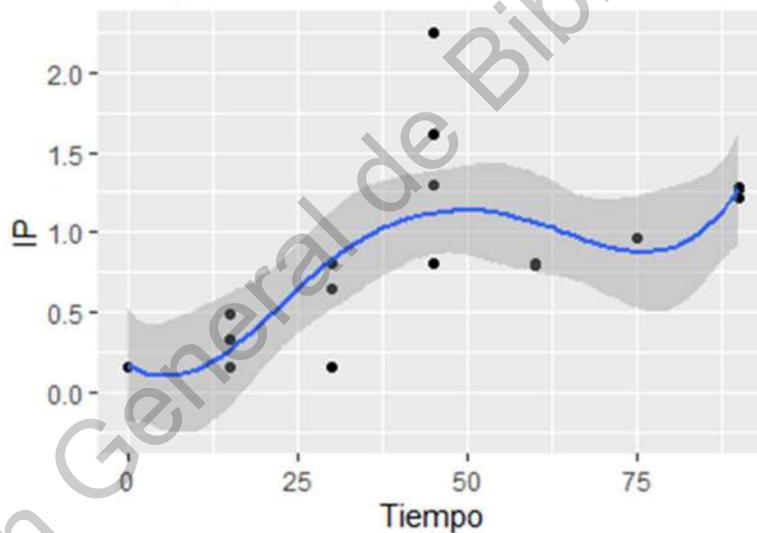


Figura 8. Cinética del índice de peróxidos a temperatura ambiente de almacenamiento.

A pesar que al papel de los microorganismos, de acuerdo con Agrahar-Murugkar y Jha (2011), es importante en la degradación ya que en este material de chapulín se encuentran en cantidades mayores a reportadas en otros tipos de alimentos de baja actividad de agua como son las harinas de maíz o trigo, es posible que los microorganismos viables utilicen carbohidratos como fuente de energía, la proteína como fuente de nitrógeno y finalmente hidrolizándolos en lípidos provocando un aumento en el índice de peróxidos si

existe la oxidación de estos y al mismo tiempo provocando una liberación de agua, lo que indica un aumento de la humedad. Sin embargo, en este experimento el cambio en estos niveles no es observado de una forma que indiquen una alta actividad de desarrollo de los microorganismos que pudiese contener debido a que generalmente el contenido de humedad del 9% o menos restringe el desarrollo.

En cuanto al color a través del tiempo se observa una disminución de la luminosidad del día 0 a el día 75 (Figura 9) sin embargo el día 90 se tiene un aumento, comparado con los colores rojos (Figura 10) y amarillos (Figura 11) que aumentan al día 45, los cuales pueden estar influenciados por el contenido de grasa y sus cambios pueden ir de la mano con la oxidación de lípidos. Aunque en las gráficas se muestran datos en un ajuste irregular (no lineal) se observa que las variaciones son menores al 4 % lo que no implicaría una diferencia práctica importante entre muestras, pudiera incluso deberse a la calibración del equipo que fue utilizado en diferentes días y ajustando el blanco cero a la luz natural del día, podría generar esa diferencia.

En otros estudios sobre el uso de la extrusora con polvos de insecto como el de Cuj-Laines et al. (2018) analizan el color de los extruidos combinados con otro tipo de harina, lo que compromete el color final, sin embargo, con este proyecto se puede observar el color del polvo de chapulín sin ninguna otra influencia que lo afecte, así como su estabilidad en el tiempo.

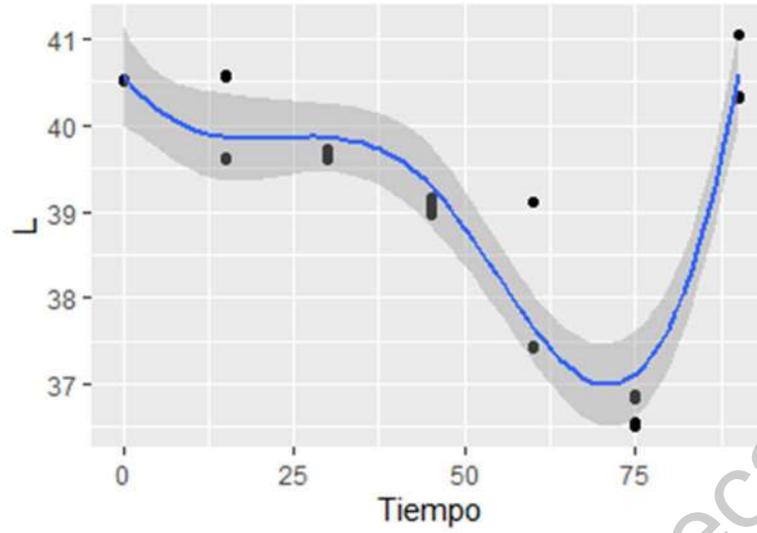


Figura 9. Cinética la luminosidad del color a temperatura ambiente de almacenamiento.

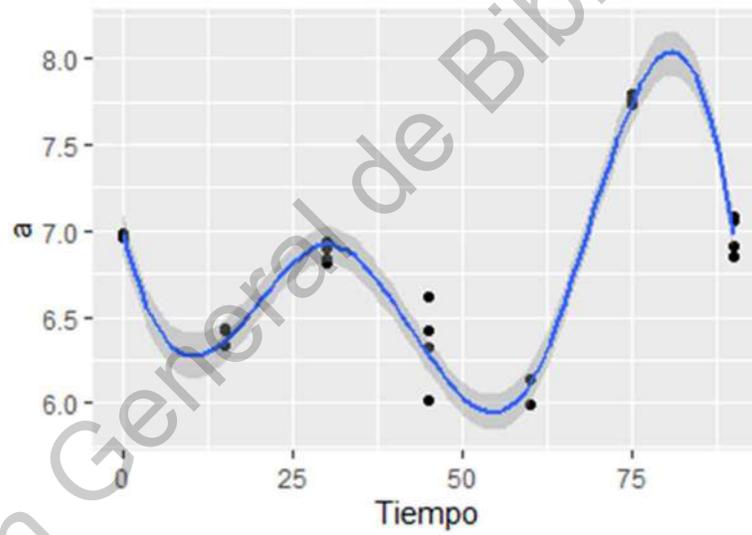


Figura 10. Cinética del valor de color rojo (a) a temperatura ambiente de almacenamiento.

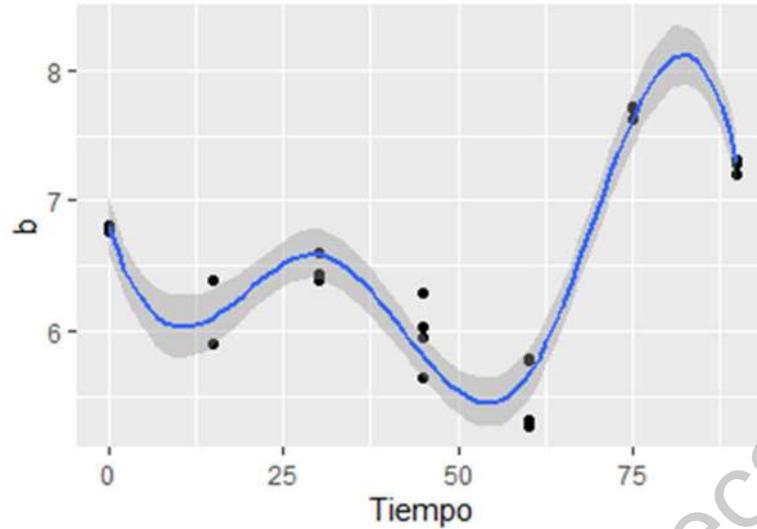


Figura 11. Cinética del valor de color amarillo (b) a temperatura ambiente de almacenamiento.

Como condición acelerada de almacenamiento se evaluaron los polvos que fueron almacenados a 40 °C. En estos casos la humedad (Figura 12) presentó una menor humedad que las muestras almacenadas a temperatura ambiente, sin embargo, en ambas condiciones se observa una ligera disminución del día 0 al día 45 y luego un ascenso del día 45 al 90; sin embargo, el cambio de éstas lecturas no es mayor al 2 % de humedad, por lo que podría ser una variación de la humedad contenida al inicio del empaque y lo remanente en el envase. Con respecto al índice de peróxidos (Figura 13) existe cierta curvatura que va en aumento del valor de mEq/kg para luego en el día 90 disminuir ligeramente, contrario a lo observado en la gráfica a temperatura ambiente la cual el aumento es lineal todo el tiempo.

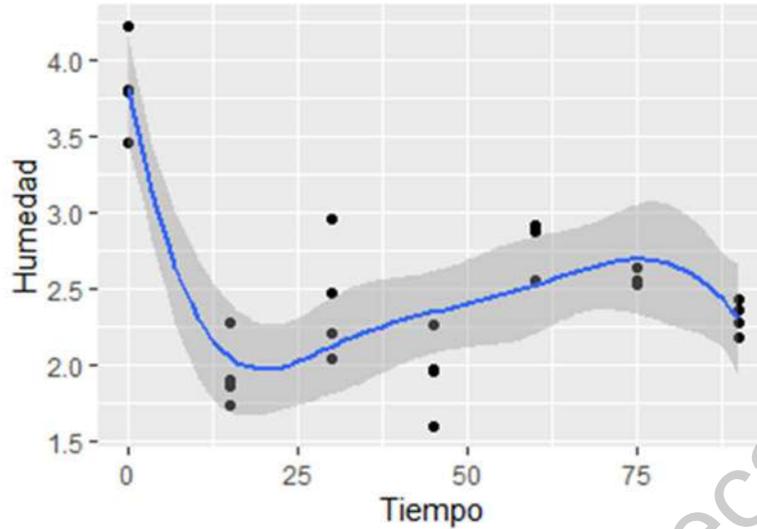


Figura 12. Cinética de la humedad a temperatura de almacenamiento de 40 °C.

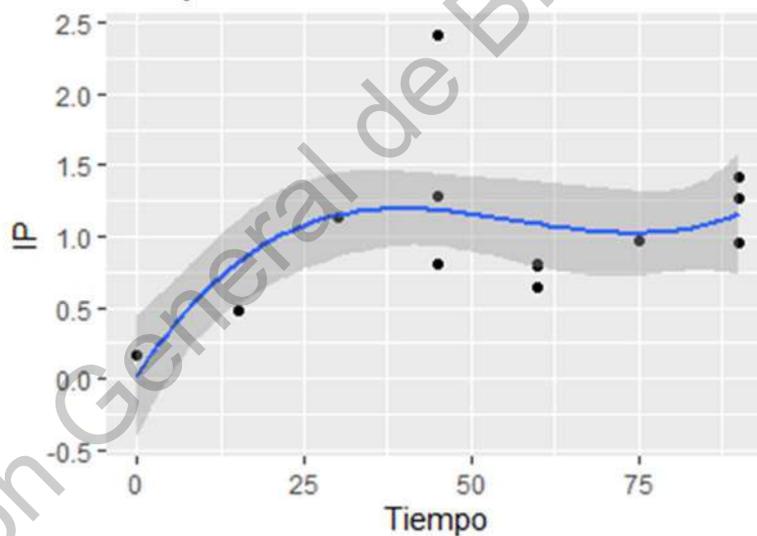


Figura 13. Cinética del índice de peróxidos a temperatura de almacenamiento de 40 °C.

En el análisis de color, se observa en la Figura 13 que la luminosidad se mantiene estable y aumenta ligeramente en el lapso transcurrido del experimento. Al igual que el color rojo (Figura 15) el ligero aumento del color es lineal, contrastando con los resultados presentados a temperatura ambiente, en donde se observa cierta curvatura que indica una inestabilidad del color en el tiempo. Con respecto al color amarillo (Figura 16) se ve un

aumento más notable al día 75, puesto que, del día 0 teniendo un valor de 5.5 aumenta a aproximadamente 9.0 unidades. Esto podría deberse a cierta liberación en el tiempo de la grasa presente en el material a cantidades mínimas que provoque un aumento del color amarillo en el polvo, sin embargo, la diferencia que existe ante el dato obtenido en el día 90 podría referir a una simple variación en la lectura del equipo.

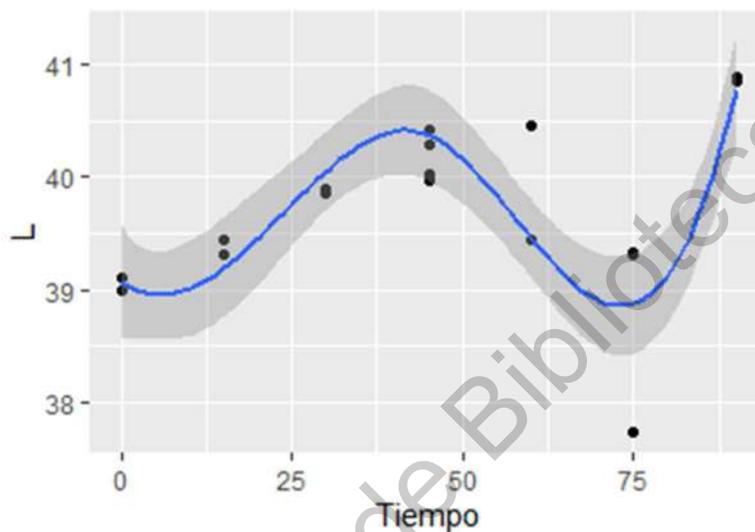


Figura 14. Cinética de la luminosidad del color a temperatura de almacenamiento de 40 °C.

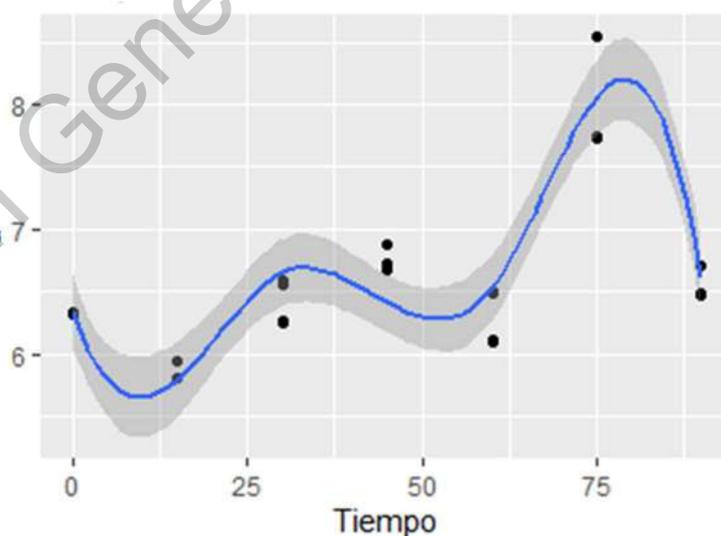


Figura 15. Cinética del valor de color rojo (a) a temperatura de almacenamiento de 40 °C.

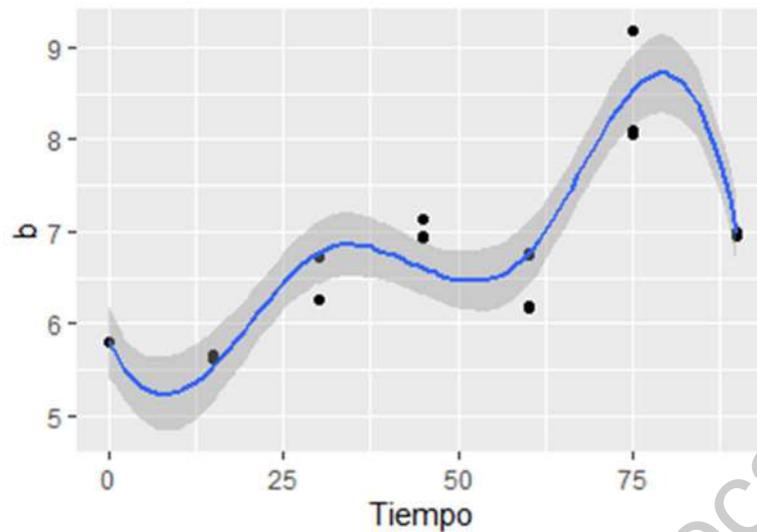


Figura 16. Cinética del valor de color amarillo (b) a temperatura de almacenamiento de 40 °C.

Las variaciones observadas en los diferentes análisis de humedad, índice de peróxidos y color en ambas temperaturas son irrelevantes desde el punto de vista práctico al ser pequeñas por lo tanto se puede deber al mismo error sistémico de la experimentación y no representa un cambio importante en el tiempo.

6.6. Aceptabilidad de pastas para sopa incorporada con el polvo seleccionado de chapulín

El análisis sensorial se llevó a cabo con 45 panelistas no entrenados de edades de 19 a 52 años, de los cuales el 38 % provenían de la ciudad de Querétaro, mientras que el 13 % y 7 % eran originarios de Chiapas y Oaxaca, respectivamente, lugares del sur de México donde es muy común el consumo de insectos como alimento; el 42 % restante provenían de diferentes estados del centro y norte de la República.

El 20% de los panelistas entrevistados indicaron nunca haber comido insectos con anterioridad, el 69 % indicaba que comía aproximadamente una vez al año y el 11 % una vez por mes, mostrando que el consumo de insectos aún no es muy cotidiano en el país.

Los participantes calificaron las propiedades de la pasta en una escala hedónica de 9 puntos, la mediana de las puntuaciones dadas a las cuatro muestras se observa en la Figura 17. Observándose una disminución en la calificación mientras se aumenta la concentración de chapulín en la muestra, también se considera que el control, aunque tuvo la mayor aceptación, fue calificado de manera muy parecida a la pasta con 5 % de sustitución de polvo de chapulín, incluso la pasta 5% tuvo un aumento en su calificación de textura.

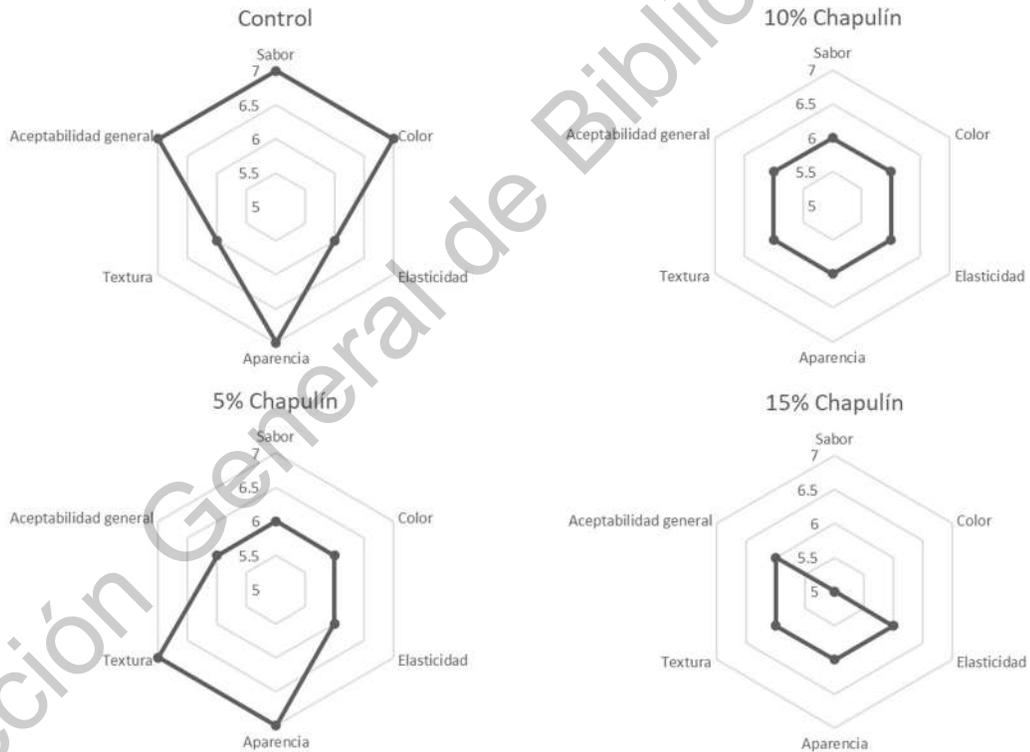


Figura 17. Diagrama de calificaciones otorgadas a las pastas de diferentes concentraciones.

Sin embargo, se observó un sesgo en las calificaciones dadas entre hombres y mujeres; mientras que el estado de procedencia y la frecuencia de consumo de insectos no

tuvo efecto relevante en la aceptación. Por lo que se muestra en la Figuras 18 y 19, la diferencia de puntuación otorgada de acuerdo con el sexo. En donde se observa que el sexo femenino otorgó calificaciones más altas a la pasta control castigando así a las pastas incorporadas con chapulín, teniendo así una considerable reducción en sus puntuaciones. Sin embargo, el sexo masculino calificó de forma más neutral tanto el control como las pastas incorporadas con chapulín e incluso tuvo una mejor puntuación la pasta con 5 % de sustitución.

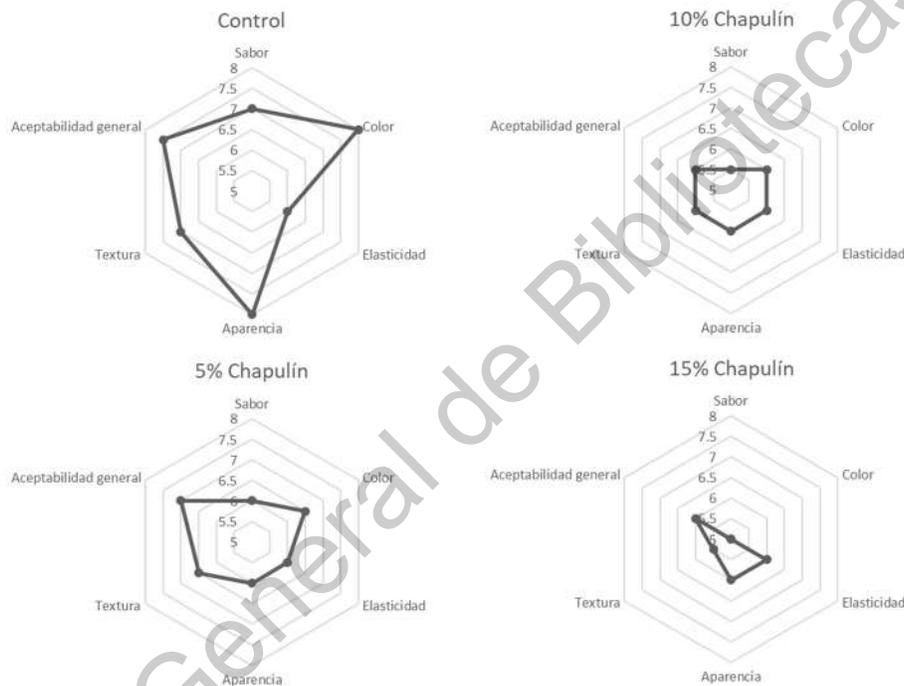


Figura 18. Diagrama de calificaciones otorgadas por el sexo femenino a las pastas de diferentes concentraciones.

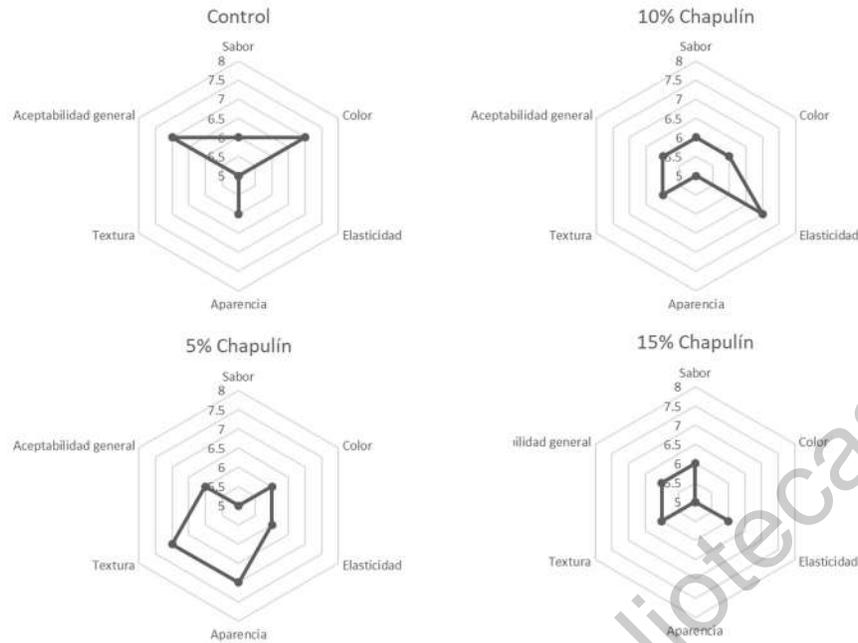


Figura 19. Diagrama de calificaciones otorgadas por el sexo masculino a las pastas de diferentes concentraciones.

En otros estudios de aceptabilidad como el de Delicato et al. (2020) indican que el color oscuro dado por los componentes de los insectos es la principal razón de rechazo al consumir este tipo de productos además de calificar negativamente atributos como el aroma rancio y el mal sabor. Es importante conocer que la neofobia aun está presente y que la mayoría de los consumidores optarían por la entomofagia más por motivos ambientales y que por decisión del sabor. Como lo reporta House (2016) que por medio de entrevistas encontró que gran porcentaje de las personas que consumirían insectos lo haría para apoyo en el cuidado del medio ambiente, al igual que sería una alternativa para consumir menos carne por motivos éticos, considerando la de origen animal como la res, puerco o pollo. También una parte de los consumidores de insectos entrevistados indicaron que las formas de presentación de los insectos podrían mejorar su aceptación, entre ellas la presentación de la carne de insecto hecha hamburguesa. Esto sugiere una puerta a la investigación para probar la combinación de los materiales provenientes de insectos, entre ellos el chapulín, en otro tipo de alimentos para generar una mejor aceptación por parte de los consumidores y así fomentar una dieta que sea nutritiva, asequible y favorable con el medio ambiente.

7. CONCLUSIONES

1.- Las condiciones no adecuadas de extrusión generan mayor variabilidad en los resultados debido a posible mezcla con la presencia de otros materiales remanentes en el equipo, provocado por el diseño del mismo. Por lo que es de gran importancia identificar las condiciones adecuadas de acuerdo con el equipo a utilizar para así evitar pérdidas de material y mejorar el rendimiento.

2.- El proceso de extrusión, hasta donde fue explorado, no altera las propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales del polvo de chapulín. Por lo tanto, su uso no afecta negativamente y puede ser usado para la producción de diversos productos de este material, además es posible que esta tecnología pudiera inducir una disminución en la cantidad de quitina presente, aspecto a explorarse en futuras investigaciones

3. No se observó una degradación del color, ni oxidación de los lípidos y la humedad no tuvo cambios significativos en el tiempo en los tres meses que duró el experimento, obteniéndose un polvo de chapulín estable.

4.- La pasta incorporada con polvo de chapulín tuvo mayor aceptabilidad entre menor fuera la sustitución. El sabor de chapulín aún puede parecer desagradable a una mayor parte de los consumidores, sobre todo el desagrado originado psicológicamente al conocer el origen del insecto. Por lo tanto, aún se debe trabajar en evitar la neofobia y poco a poco incluir este tipo de alimentos a la dieta diaria.

8. BIBLIOGRAFÍA

Abadía-García, L., Cardador, A., del Campo, S. T. M., Arvízu, S. M., Castaño-Tostado, E., Regalado-González, C. y Amaya-Llano, S. L. (2013). Influence of probiotic strains added to cottage cheese on generation of potentially antioxidant peptides, anti-listerial activity, and survival of probiotic microorganisms in simulated gastrointestinal conditions. *International Dairy Journal*, 33(2), 191-197.

Abdel-Haleem, A. M. y Omran, A. A. (2014). Preparation of dried vegetarian soup supplemented with some legumes. *Food and Nutrition Sciences*, 5(22), 2274.

Agrahar-Murugkar, D. y Jha, K. (2011). Influence of storage and packaging conditions on the quality of soy flour from sprouted soybean. *Journal of Food Science and Technology*, 48(3), 325-328.

Alam, M. R., Scampicchio, M., Angeli, S. y Ferrentino, G. (2019). Effect of hot melt extrusion on physical and functional properties of insect based extruded products. *Journal of Food Engineering*, 259, 44-51.

Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H. y Gupta, K. (2015). Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(3), 445-473.

Anderson, R. A., Conway, H. y Peplinski, A. J. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch-Stärke*, 22(4), 130-135.

Aragón-García, A., Rodríguez-Lima, D. R., Pino-Moreno, J. M., Aragón-Sánchez, M., Carlos-Ángeles, S. y García-Pérez, A. (2018). Valor nutritivo de la harina del chapulín *Sphenarium Purpurascens* Charpentier, 1845 (orthoptera: pyrgomorphidae) tostado y natural. *Entomología Mexicana*, 5(1), 106-112.

Au N. y Bidart J. (1992). Manual de harina de pescado. Compañía Pesquera San Pedro S.A.C.I., Coronel, Chile. 56 pp.

Azzollini, D., Derossi, A., Fogliano, V., Lakemond, C. M. M. y Severini, C. (2018). Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 344-353.

Berk, Z. (2018). Extrusion. *Food Process Engineering and Technology*, 373–394.

Biró, B., Fodor, R., Szedljak, I., Pásztor-Huszár, K. y Gere, A. (2019). Buckwheat-pasta enriched with silkworm powder: Technological Analysis and Sensory Evaluation. *LWT*, 116, 108542.

Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M. y Schlüter, O. K. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12), e00218.

Castellanos-Vargas, I. y Cano-Santana, Z. (2009). Historia natural y ecología de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, 337-346.

Cerritos Flores, R., Ponce-Reyes, R. y Rojas-García, F. (2015). Exploiting a pest insect species *Sphenarium purpurascens* for human consumption: Ecological, social, and economic repercussions. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 75-84.

Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, 20(4), 263–283.

Cueva-Del Castillo, R. y Cano-Santana, Z. (2001). Variación de la coloración corporal de *Sphenarium purpurascens*, (orthoptera: pyrgomorphidae) en función del sexo y su relación con la formación de parejas en un ambiente heterogéneo. *Entomología Mexicana*, 40(3), 297-309.

Cuj-Laines, R., Hernández-Santos, B., Reyes-Jaquez, D., Delgado-Licon, E., Juárez-Barrientos, J. M. y Rodríguez-Miranda, J. (2018). Physicochemical properties of ready-to-eat extruded nixtamalized maize-based snacks enriched with grasshopper. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(8), 1889-1895.

Delicato, C., Schouteten, J. J., Dewettinck, K., Gellynck, X. y Tzompa-Sosa, D. A. (2020). Consumer's perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79, 103755.

EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *European Food Safety Authority EFSA journal*, 13(10), 4257.

Farzana, T., Mohajan, S., Saha, T., Hossain, M. N. y Haque, M. Z. (2017). Formulation and nutritional evaluation of a healthy vegetable soup powder supplemented with soy flour, mushroom, and moringa leaf. *Food Science and Nutrition*, 5(4), 911-920.

FAO. (2010). Regulatory frameworks governing the use of insects for food security. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3253e/i3253e14.pdf> Consultado: Marzo 2020.

FAO. (2020). Recursos naturales. Los desafíos de la escasez y el cambio climático. Disponible en: <http://www.fao.org/3/am859s/am859s12.pdf> Consultado: Mayo 2020.

FUNDES Strategy. (2019). Cadena de valor de insectos. Disponible en: <http://www.cita.ucr.ac.cr/sites/default/files/Cadena%20de%20Valor%20de%20Insectos.pdf> Consultado: Marzo 2020.

González, C. M., Garzón, R. y Rosell, C. M. (2019). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. Illucens*, *A. Domestica* and *T. Molitor* flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51, 205-210.

Halloran, A. y Vantomme, P. (2013). La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3264s/i3264s00.pdf>
Consultado: Abril 2020.

House, J. (2016). Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite*, 107, 47-58.

Ibarra-Herrera, C. C., Acosta-Estrada, B., Chuck-Hernández, C., Serrano-Sandoval, S. N., Guardado-Félix, D. y Pérez-Carrillo, E. (2020). Nutritional content of edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) fed on alfalfa (*Medicago sativa*) and maize (*Zea mays*). *CyTA- Journal of Food*, 18(1), 257-263.

Igual, M., García-Segovia, P. y Martínez-Monzó, J. (2020). Effect of *Acheta domestica* (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*, 110032.

International Platform of Insects for Food and Feed. (2019). IPIFF guide on good hygiene practices. IPIFF, Bruselas, Belgica. Disponible en: <https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/12/IPIFF-Guide-on-Good-Hygiene-Practices.pdf>

Janssen, R. H., Vincken, J. P., van den Broek, L. A., Fogliano, V. y Lakemond, C. M. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2275-2278.

Krejčová, A., Černohorský, T. y Meixner, D. (2007). Elemental analysis of instant soups and seasoning mixtures by ICP–OES. *Food Chemistry*, 105(1), 242-247.

Lähteenmäki-Uutela, A., Grmelová, N., Hénault-Ethier, L., Deschamps, M. H., Vandenberg, G. W., Zhao, A. y Nemané, V. (2017). Insects as food and feed: laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food and Feed Law Review*, 22-36.

Manditsera, F. A., Luning, P. A., Fogliano, V. y Lakemond, C. M. (2019). Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. *Food Research International*, 121, 404-411.

Menzio, D., Sogari, G., Veneziani, M., Simoni, E. y Mora, C. (2017). Eating novel foods: An application of the theory of planned behaviour to predict the consumption of an insect-based product. *Food Quality and Preference*, 59, 27-34.

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C. y Dufour, C. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food—an international consensus. *Food and Function*, 5(6), 1113-1124.

Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, R. M., Reis, F. S., Barros, L., Berrios, J. D. J. y Cámara, M. (2015). Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 19, 537-544.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2007). Good agricultural practices for cricket farm. *Royal Gazette*, Vol. 134.

Special Section 293 D. Disponible en: https://www.acfs.go.th/standard/download/eng/GAP_CRICKET_FARM-ENG.pdf

Norma Oficial Mexicana NMX-F-023-S-1980. Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades. normas mexicanas. dirección general de normas. Disponible en: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMXF-023-S-1980.PDF>. Consultado: Enero 2021

Patel, S., Suleria, H. A. R. y Rauf, A. (2019). Edible insects as innovative foods: Nutritional and functional assessments. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 352-359.

Peressini, D., Cavarape, A., Brennan, M. A., Gao, J. y Brennan, C. S. (2020). Viscoelastic properties of durum wheat doughs enriched with soluble dietary fibres in relation to pasta-making performance and glycaemic response of spaghetti. *Food Hydrocolloids*, 102, 105613.

Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E. y Nandagopal, S. (2004). Water resources: agricultural and environmental issues. *Bioscience*, 54(10), 909-918.

Ramos-Elorduy, J. (2006) Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal Ethnobiology Ethnomedicine* 2, 51.

Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L. y De Guevara, O. L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(2), 142-157.

Rodríguez-Miranda, J., Alcántar-Vázquez, J. P., Zúñiga-Marroquín, T. y Juárez-Barrientos, J. M. (2019). Insects as an alternative source of protein: a review of the potential use of grasshopper (*Sphenarium purpurascens* Ch.) As a food ingredient. *European Food Research and Technology*, 1-8.

Rodríguez-Miranda, J., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Vivar-Vera, M. A., Carmona-García, R., Gómez-Aldapa, C. A. y Martínez-Sánchez, C. E.

(2012). Physicochemical and functional properties of whole and defatted meals from Mexican (*Cucurbita pepo*) pumpkin seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(11), 2297–2303.

Rumpold, B. A. y Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802-823.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). Insectos comestibles. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/hay-una-mosca-en-mi-sopa-insectos-comestibles-156649> Consultado: Mayo 2020.

Singh, S., Gamlath, S. y Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916–929.

Smetana, S., Larki, N.A., Pernutz, C., Franke, K., Bindrich, U., Toepfl, S. y Heinz, V., (2017) Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *Journal of Food Engineering*, 229, 83-85.

Sokol, W. N. (2020). Grasshopper sensitization in patients allergic to crustaceans, mites, and cockroaches: Should grasshopper-containing products carry a warning?. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 124(5), 518-520.

Stone, A. K., Tanaka, T. y Nickerson, M. T. (2019). Protein quality and physicochemical properties of commercial cricket and mealworm powders. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3355-3363.

The Blog of Incredible Foods. (2016). The Future Of Edible Insects. Disponible en: <https://thefutureofedibleinsects.com/us-regulations/> Consultado: Abril 2020

Torruco-Uco, J. G., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Juárez-Barrientos, J. M. y Rodríguez-Miranda, J. (2019). Chemical, functional and thermal

characterization, and fatty acid profile of the edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens* Ch.). *European Food Research and Technology*, 245(2), 285-292.

Valencia, G.F.E. y Millán, C.L.J. (2009). Estimación de la vida útil de un arequipe bajo en calorías. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 6, núm. 1, enero-junio, pp. 9-15.

Wu, T., Wang, L., Li, Y., Qian, H., Liu, L., Tong, L. y Zhou, S. (2019). Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. *Food Science and Technology LWT*, 108, 137-144.

Zamudio-Flores, P. B., Tirado-Gallegos, J. M., Espino-Díaz, M., Ochoa-Reyes, E., Hernández-Centeno, F., Hernández-González, M. y Sánchez-Ortíz, O. (2019). Food supplements from a grasshopper: A developmental stage-wise evaluation of amino acid profile, protein and vitamins in *Brachystola magna* (Girard). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 561-568.

Zielińska, E., Karaś, M. y Baraniak, B. (2018). Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *Food Science and Technology LWT*, 91, 168-174.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ANEXOS

Documento de consentimiento informado para análisis sensorial

Título del proyecto: Evaluación del proceso de extrusión para la obtención de polvos de chapulín de la milpa *Sphenarium purpurascens* con alto valor nutricional y aceptabilidad organoléptica.

Investigador responsable: Dr. Eduardo Castaño Tostado

Nombre del evaluador: Gabriela Mina Velázquez

Este formulario de consentimiento informado se dirige a hombres y mujeres invitados a participar en la investigación de la aceptabilidad de un producto elaborado con adición de polvo de chapulín de la milpa *Sphenarium purpurascens*. El polvo es producido con el uso de tecnología de extrusión seguido por un secado y con una posterior molienda. En cuanto al producto elaborado es una pasta elaborada con una combinación de sémola de trigo y polvo de *S. purpurascens*. Estos productos no representa ningún riesgo para usted ya que se ha asegurado su inocuidad; sin embargo, si usted presenta alergias a mariscos favor de abstenerse a realizar esta prueba. La actividad es solamente de tipo experimental, confidencial y de carácter voluntario, por lo que, si desea retirarse de esta actividad, puede hacerlo en cualquier momento, aún durante la evaluación. Si usted no comprende algo sobre el estudio o algún concepto no queda claro, siéntase libre de hacer cualquier tipo de pregunta.

Justificación del estudio

La entomofagia es una práctica que puede contribuir a conseguir una seguridad alimentaria al ser una fuente de alimentos nutritivos obtenidos de forma amigable con el medio ambiente. En México el consumo de insectos es una práctica cultural ya arraigada; sin embargo, no es generalizada y se limita principalmente al sur del país, dando paso a que con el uso de tecnología alimentaria se puedan crear productos que sean de agrado para la mayoría de la población. Debido a la preferencia que existe por evitar consumir insectos enteros, la obtención de un polvo a partir de *Sphenarium purpurascens* resulta ser

factible para su introducción al mercado de productos comestibles a base de insectos en el país.

Objetivo de la investigación

Obtener polvos de chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens*) por medio de la tecnología de extrusión, con aceptabilidad organoléptica, manteniendo en el tiempo sus propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional para su inclusión en un nuevo producto.

Objetivo del estudio

Determinar la aceptabilidad de la pasta de sémola de trigo incorporada de polvo de chapulín de la milpa como una vía para la mejora de su perfil nutricional.

Procedimiento del estudio

Si usted cumple con los requisitos para participar en este estudio y acepta participar voluntariamente se aplicará la siguiente evaluación sensorial:

Evaluación organoléptica de la pasta

- 1) Se presentará la pasta después de disolverlas en agua caliente en contenedores codificados con números de 3 dígitos aleatorios y una boleta para llenar.
- 2) Probará cada una de las muestras dando un enjuague con agua entre cada muestra diferente que pruebe para limpiar su paladar.
- 3) Llenará la boleta calificando sus características sensoriales, es decir, sabor, color, grosor, apariencia y aceptabilidad general en una escala hedónica de nueve puntos donde 1 se considera “Me disgusta extremadamente” y 9 es “Me gusta extremadamente”.

Duración del estudio:

El estudio tendrá una duración aproximada de 20 min.

Riesgos asociados con el estudio

Se le garantiza que los alimentos que usted va a ingerir son inocuos microbiológicamente. Asegurando su calidad microbiológica mediante los análisis que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008: Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba y la norma mexicana NMX-F-023-S-1980: Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades y la guía de buenas prácticas de higiene para productores de insectos como alimento para la Unión europea.

Sin embargo, el riesgo de alergia por algunos de los componentes del insecto puede existir si presenta alergia a mariscos. Por lo que se recomienda que si usted es consciente de presentar alergias asociadas a estos ingredientes desista de participar en este estudio.

Aclaraciones

- La decisión de participar en este estudio es completamente voluntaria.
- No recibirá ningún apoyo económico por su participación.
- Puede solicitar la información que desee antes, durante y al finalizar el estudio.
- Puede tomar la decisión de retirarse del estudio en el momento que lo desee, está será respetada y puede o no dar los motivos de su decisión.
- No habrá ninguna consecuencia para usted si decide no participar en el estudio.
- La información recabada en este estudio será utilizada para realizar análisis estadísticos. Y los datos de carácter personal que se lleguen a recolectar se mantendrán en estricta confidencialidad por el grupo a cargo de la investigación.
- La información proporcionada en este consentimiento informado ha sido revisada y aprobada por el comité de bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Cualquier duda sobre sus derechos como participante o reporte de alguna irregularidad durante el estudio favor de hacerlo a través de:

Dr. Eduardo Castaño Tostado

Investigador responsable

Teléfono: 01 442 192 12 00 ext. 5578,
5514

Correo Electrónico: ecastano@uaq.mx

Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez

Presidenta de la Comisión de Bioética de
la Facultad de Química de la Universidad
de Autónoma de Querétaro

Correo electrónico:

iza.perez@hotmail.com

Teléfono: 01 442 192 12 00 ext. 5501

Dirección General de Bibliotecas UAQ

En la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro, México. Al día 01 del mes de julio del año 2021, declaro mi consentimiento informado y voluntariamente deseo participar en el presente estudio sensorial.

Nombre y firma del participante Nombre y firma del participante

Nombre y firma del participante Nombre y firma del participante

Nombre y firma del participante Nombre y firma del participante

Nombre y firma del participante Nombre y firma del participante

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos
C.U., Cerro de las Campanas s/n, Colonia Las Campanas,
C.P.76010, Querétaro, Qro.

**Formato de evaluación organoléptica de pasta de sémola de trigo
incorporada de polvo de chapulín de la milpa**

Sexo: _____ Edad: _____
 Estado de procedencia: _____
Código: _____

Por favor marque con una X la respuesta a las siguientes cuestiones:

¿Es consumidor habitual de pastas? Si _____ No _____

¿Ha consumido insectos con anterioridad? Si _____ No _____

*De responder con una afirmación especifique cuales ha consumido:

___ Grillos o chapulines enteros ___ Gusanos de maguey ___ Sal de gusano
 ___ Hormigas (Chicatanas, escamoles, etc.) ___ Otros

¿Con que frecuencia consume insectos?

___ Diariamente ___ Una vez por semana ___ Una vez por mes ___ Una vez por año

Instrucciones:

- 1) Se presentará la pasta después de disolverlas en agua caliente en contenedores codificados con números de 3 dígitos aleatorios.
- 2) Probar cada una de las muestras dando un enjuague con agua entre cada muestra diferente que pruebe para limpiar su paladar.
- 3) Llenar la boleta calificando sus características sensoriales. Donde 1 es "Me disgusta extremadamente" y 9 es "Me gusta extremadamente"

Código de muestra: _____

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sabor:	<input type="radio"/>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Color:	<input type="radio"/>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elasticidad:	<input type="radio"/>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Apariencia:	<input type="radio"/>								

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Textura:

Aceptabilidad general:

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Código de muestra: _____

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Sabor:

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Color:

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Elasticidad:

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Apariencia:

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Textura:

Aceptabilidad general:

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Código de muestra: _____

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Sabor:

1 2 3 4 5 6 7 8 9
Color:

Elasticidad:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Apariencia:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Textura:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Aceptabilidad general:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Código de muestra: _____

Sabor:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Color:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Elasticidad:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Apariencia:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Textura:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

Aceptabilidad general:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>								

