

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



**“DESARROLLO DE UN NUTRI-SNACK FUNCIONAL ALTAMENTE PROTEICO
A BASE DE HARINA DE ZEA MAYS, *SPHENARIUM PURPURASCENS* Y
AMARANTHUS MEDIANTE PROCESO DE EXTRUSIÓN”**

POR:

FÁTIMA ABRIL SOLÍS NIEVES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MARZO 2025

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“DESARROLLO DE UN NUTRI-SNACK FUNCIONAL ALTAMENTE PROTEICO
A BASE DE HARINA DE ZEA MAYS, SPHENARIUM PURPURASCENS Y
AMARANTHUS MEDIANTE PROCESO DE EXTRUSIÓN”**

Por:

FÁTIMA ABRIL SOLÍS NIEVES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aprobada por el comité Asesor:



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Asesor principal



Dra. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui
Asesor



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Asesor



M.C. María Isabel Márquez Rangel
Asesor



M.C. Pedro Carrillo Lopez
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2025



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“DESARROLLO DE UN NUTRI-SNACK FUNCIONAL ALTAMENTE PROTEICO
A BASE DE *HARINA DE ZEA MAYS*, *SPHENARIUM PURPURASCENS* Y
AMARANTHUS MEDIANTE PROCESO DE EXTRUSIÓN”**

Por:

FÁTIMA ABRIL SOLÍS NIEVES

TESIS

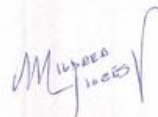
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADA



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Presidente



Dra. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui
Vocal



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Vocal



M.C. María Isabel Márquez Rangel
Vocal

Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2025

DECLARACION DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado **"DESARROLLO DE UN NUTRI-SNACK FUNCIONAL ALTAMENTE PROTEICO A BASE DE HARINA DE ZEA MAYS, SPHENARIUM PURPURASCENS Y AMARANTHUS MEDIANTE PROCESO DE EXTRUSIÓN"** es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria, (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respetaron los derechos de autor; esto será en objeto de sanciones del Comite Editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación del mismo, ni a un nuevo envío.

ATENTAMENTE



FATIMA ABRIL SOLIS NIEVES

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a **Dios**, por todo lo bueno que me brinda, la salud, mi familia, inteligencia, abundancia, éxitos, por guiarme y cuidarme durante este trayecto universitario, sin él no hubiera llegado a donde estoy, gracias **Dios, vida y universo**.

Quiero agradecer a mis **padres Alva Elena Nieves y Juan Carlos Solis**, por ser el pilar más fuerte e importante en mi vida, darme la confianza, amor incondicional, libertad, apoyo emocional y económico e impulsarme para lograr este triunfo, gracias padres por ser mis héroes; a mis hermanos **Sareli Solís** por ser la mejor amiga incondicional, ayuda emocional y mi ejemplo a seguir, **Jhesua Solís y Juan De Dios Solís** por su amor, alegría, paz que me dan, por motivarme y ser ellos mi mayor motivación de nunca rendirme, gracias familia, bendición tan grande poderlos tener, porque sin ustedes nada hubiera sido posible, séanme eternos, los amo.

Gracias a mi **Alma mater UAAAN**, por acogerme, los conocimientos, por la fraternidad que me cobijo, la comida y por las buenas experiencias disfrutadas A mis asesores **Dr. Mario Cruz y M.C. Isabel Márquez**, por el conocimiento compartido, la asesoría y la paciencia durante el transcurso de la tesis.

También agradecer a mis amigos que fueron parte de este gran camino, que compartimos conocimientos, miedos, preocupaciones y mas que nada alegrías, **Itzayana Cano y Andrea Rosas** por ser mis incondicionales durante la carrera, por motivarme y escucharme cuando más lo necesitaba, gracias; a los que se sumaron durante el trayecto, **Berenice Mejía y Karla Herrera** por ser una luz de alegría y apoyo, mi novio **Tonatiu Luna** por el amor y apoyo emocional que me brinda, gracias por formar parte mi vida y hacerla más amena. Agradecer también a tres grandes amigas **Kenia Sánchez, Carolina Muñoz y Naidely Sandoval** gracias por ser tan buenas amiga, preocuparse desde siempre por mí, su apoyo emocional y estar siempre presentes. ¡Gracias Dios y familia, este logro es también de ustedes!

DEDICATORIA

MIS PADRES

Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a ustedes, Juan Carlos Solis y Alva Elena Nieves, mis amados padres, que, con su amor incondicional, sus consejos y sus sacrificios me han guiado durante este camino. Gracias por que son mi mayor motivación; Todo lo que soy y lo que aspiro a ser se lo debo a ustedes.

MIS HERMANOS

A mis queridos hermanos, por ser mi fuerza en los días difíciles y mi alegría en los momentos más felices, por creer en mí, cuando incluso yo dudaba, esta tesis es la prueba del apoyo incondicional que siempre nos brindamos, les dedico este esfuerzo a ustedes, los amo.

INDICE

RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo General	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. ANTECEDENTES	16
4.1 Alimentos funcionales.....	16
4.1.1 Alimentos convencionales.....	16
4.1.1.2 Alimentos modificados.....	17
4.1.2 Ventajas	18
4.1.3 Desventajas.....	18
4.2 Snack.....	18
4.2.1 Productos	19
4.2.2 Desventajas.....	19
4.2.3 Ventajas	20
4.3 Maíz	20
4.3.1 Composición nutricional del maíz.....	21
4.3.2 Tipos de maíz	22
4.3.3 Procesamiento.....	22
4.3.3.1 Proceso de nixtamalización en maíz.....	23
4.3.3.1.1 Nixtamalización clásica.....	23
4.3.3.1.2 Nixtamalización ecológica	23
4.3.4 Ventajas	24
4.3.5 Productos	24
4.3.6 Harinas.....	25
4.3.6.1 Proceso	25
4.3.6.2 Maseca	26
4.4 Insectos comestible como fuente alternativa de proteínas	27
4.4.1 <i>Sphenarium purpurascens</i>	27
4.4.1.3 Características.....	29
4.4.1.4 Hábitat y alimentación.....	30
4.4.1.5 Recolección	30

4.4.2 Harina de Sphenarium Purpurascens	31
4.4.2.1 Obtención de la harina de Sphenarium Purpurascens	31
4.5 Amaranto.....	32
4.5.1 Propiedades.....	33
4.5.3 Ventajas	35
4.5.4 Desventajas	35
4.5.5 Ubicación.....	36
4.5.6 Productos	36
4.6 Extrusión	37
4.6.1 Desventajas.....	38
4.6.2 Ventajas	38
4.6.3 Composición química de la extrusión	39
4.6.4 Contribuciones de los extruidos a la salud	39
5. METODOLOGÍA.....	40
5.1 Materias primas.....	40
5.2 Caracterización de las harinas	41
5.2.1 Índice de color de las harinas	41
5.2.2 Composición química proximal de las harinas	42
5.2.2.1 Determinación de humedad en harinas.....	42
5.2.2.2 Determinación de cenizas.....	43
5.2.2.3 Determinación de proteína en harinas	43
5.2.2.4 Determinación de grasa en harinas	44
5.2.2.5 Determinación de fibra cruda en harinas.....	45
5.2.2.6 Carbohidratos y energía total.....	46
5.2.3 Análisis tecno-funcionales.....	46
5.2.3.1 Capacidad de retención de agua	46
5.2.3.2 Capacidad de retención de aceite.....	47
5.3 Estudio preliminar	47
5.4 Formulaciones.....	49
5.4.1 Proceso de las formulaciones	49
5.5 Composición química proximal de las formulaciones de los snacks.....	53
5.5.1 Determinación de humedad	54
5.5.2 Determinación de cenizas	54
5.5.3 Determinación de proteína	55

5.5.4 Determinación de grasa	56
5.5.5 Determinación de fibra	56
5.5.6 Carbohidratos y energía total.....	57
5.5.7 Índice de color del snack	57
5.6 Evaluación de compuestos bioactivos	57
5.6.1 Extracción de compuestos.....	57
5.6.2 Evaluación de Polifenoles.....	57
5.6.2.1 Polifenoles condensados.....	57
5.6.2.2 Polifenoles hidrolizables	58
5.6.3 Análisis antioxidantes.....	59
5.6.3.1 ABTS	59
5.6.3.2 DPPH.....	59
5.7 Evaluación sensorial.....	60
5.7.1 Estudio de mercado	61
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
6.1 Caracterización de las harinas	62
6.1.1 Índice de color.....	62
6.1.2 Caracterización químico proximal	62
6.1.3 Tecno funcionales	64
6.2 Formulaciones.....	65
6.3 Caracterización del snack.....	66
6.3.1 Color de los snacks	66
6.3.2 Composición químico proximal	67
6.4 Evaluación de polifenoles.....	68
6.4.1 Polifenoles condensados.....	68
6.4.2 Polifenoles hidrolizables.....	69
6.5 Análisis antioxidantes.....	70
6.5.1 ABTS	70
6.5.2 DPPH.....	71
6.6 Evaluación sensorial	72
6.6.1 Aceptabilidad general	72
6.6.2 Evaluación de atributos	74
6.6.3 Estudio de mercado	75
7.CONCLUSION.....	79

8. BIBLIOGRAFIA	80
-----------------------	----

RESUMEN

Los snacks son comidas rápidas ligeras que han sido rediseñados para ser más nutritivos, saludables, buscando claridad en su elaboración, y que aporten energía. El maíz azul, es un ingrediente popular en México debido a sus propiedades antioxidantes y nutraceuticas. Los insectos, como el “chapulín”, son una fuente de proteínas, altamente nutritiva y saludable, considerándose una alternativa para combatir la desnutrición. El amaranto es un pseudocereal rico en aminoácidos, fibra, minerales esenciales, vitaminas y antioxidantes. Por lo que el objetivo de este proyecto es crear un snack nutritivo y funcional, enriquecido con harina de *Zea mays*, *Sphenarium purpurascens* y *Amaranthus* que sea saludable a comparación con la “comida chatarra”, este producto busca satisfacer las demandas nutricionales y aprovechar las propiedades de los ingredientes utilizados. La mayoría de los extruidos desarrollados se consideran comida chatarra debido a su bajo contenido de nutrientes, que incluyen más calorías, menos proteínas, minerales y componentes bioactivos (Bayomy y col. 2024), sin embargo, este proceso permite crear snacks con características específicas de textura, forma y sabor, aportando beneficios en sus valores nutricionales. De las tres harinas funcionales seleccionadas, se adquirieron, harina de maíz azul, chapulín, y amaranto; se plantearon 3 formulaciones modificando el porcentaje de harina de maíz, harina de amaranto, manteniendo una relación del 10 % de harina de chapulín. Se realizó el análisis de nutrientes, por las técnicas de la AOAC, determinando Humedad, cenizas totales, proteína por el método de Kjeldahl, grasa por método de Soxhlet, y fibra.

Palabras clave: Alimentos Funcionales, Nutri-Snacks, Extrusión, *Sphenarium purpurascens*, *Amaranthus*, *Zea mays*.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la industria de los “snack” cada día es más relevante, ya que superan a los productos tradicionales mejor conocido como comida “chatarra”, aportando innovación y valor nutricional extra, siendo un subconjunto de comidas listas para comer que han tenido aumento significativo en los últimos años debido a la modernización y los cambios en los estilos de vida.

Sin embargo, los snack’s comunes suelen contener ingredientes que los hacen ser bajos en valor nutricional y altos en calorías, aumentando los problemas más comunes en México siendo principalmente la obesidad y diabetes, puesto que el aporte nutricional es casi bajo o nulo los consumidores dentro de su vida ajetreada se interesan en mejorar sus dietas diarias con alimentos ricos, con mayor aporte nutricional y que sean fácil de transportar e ingerir, lo que demanda cada vez mejores opciones de alimentos, la industria alimentaria ha innovado nuevas técnicas que potencialicen el contenido nutricional y composición fitoquímica bioactiva impactando positivamente en la salud de cada uno, generalmente estos aperitivos son elaborados a partir de ingredientes de origen vegetal, harinas de granos, cereales o insectos, que ofrecen opciones más sostenibles y ecológicas.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es desarrollar un producto extruido innovador y funcional, con tres fuentes de nutrientes, harina de maíz azul nixtamalizado (*Zea Mays*) ya que el maíz se consume diariamente en diversas formas en Centroamérica y es más convencional, se le añadirá harina de amaranto (*Amaranthus*) debido que es una planta que se cultiva en México con valor agregado nutraceutico, proteico, calcio, hierro y otros compuestos, elementos necesarios para la alimentación humana, puesto que el ser humano ha utilizado insectos comestibles desde la época prehispánica, donde destaca México por ser uno de los países más ricos en insectos, 549 son especies comestibles lo que ha llamado la atención el insecto chapulín (*Sphenarium purpurascens*) que destaca por su alto contenido en proteínas de calidad y disponibilidad se le considera candidato para la creación de este producto innovador no convencional transformándolo en harina, dado que es un insecto no convencional la ingesta es menor es por eso que se

deben diseñar diferentes presentaciones para el consumo y la aceptación de los consumidores, además que la obtención de algunos insectos tiene un menor impacto ambiental en cuanto a una menor emisión de gases de efecto invernadero, un mayor rendimiento de producción, seguridad alimentaria, y una mayor tasa de conversión alimenticia que los alimentos de origen animal.

La mezcla de estas tres harinas, trata de un snack que, a diferencia de la mayoría de los que se consideran “comida chatarra” por su bajo valor nutricional y su efecto negativo en la salud, este aporta beneficios para el organismo, nutritivos y de alta calidad utilizando materias primas disponibles a precios razonables, formando parte de la dieta diaria de muchas personas, pero también contribuyendo a superar las necesidades energéticas promedio del día.

Normalmente, la creación de estos productos requiere el uso de tecnologías innovadoras, la cocción por extrusión es un proceso tecnológico emergente muy utilizado en la industria alimentaria en la formación de diversos tipos de alimentos de diferentes tamaños, formas, texturas, sabores, se puede definir como, biorreactor de alta temperatura y corto tiempo de residencia que implica cambios en la forma, estructura y composición de las materias primas, dando como resultado una masa fundida que se expande a la salida de la matriz debido a un cambio instantáneo de presión, transformando en productos intermedios modificados, o en productos finales con características diferentes a las que tenían en su estado original, con las que se puede obtener alimentos ricos en nutrientes de bajo contenido en grasas, más saludables y sostenibles.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

El objetivo es diseñar y elaborar la producción de tres formulaciones de snack funcional de alto valor nutricional y proteico, a base de harina *Zea Mays*, enriquecido con harina de *Sphenarium Purpurascens* y *Amaranthus*, en diferentes concentraciones, por el método de extrusión, evaluando su calidad fisicoquímica, sensorial y nutricional, superando los disponibles actualmente en el mercado

2.2 Objetivos Específicos

- Formular y desarrollar un snack nutritivo que mantenga las características de la matriz saludable, que aporte propiedades funcionales definidas.
- Formular el snack con diferentes concentraciones de harina *de Zea mays*, *Sphenarium Purpurascens* y *Amaranthus*, buscando maximizar su contenido de proteína, fibra, antioxidantes y otros compuestos bioactivos.
- Establecer las condiciones óptimas de extrusión, para obtener un snack con la textura, color, sabor y aporte nutricional deseados.
- Analizar los comportamientos de las mezclas de harinas, de las diferentes concentraciones (%).
- Analizar la calidad fisicoquímica, sensorial y nutricional del snack.

3. JUSTIFICACIÓN

Durante las últimas décadas, México, al igual que otros países de ingresos bajos y medios, ha experimentado un fuerte aumento en el consumo de alimentos y bebidas ultra procesados (bebidas azucaradas, botanas, dulces y postres), una ingesta limitada de alimentos integrales (frutas, verduras, cereales con alto contenido de fibra), y una notable disminución en la actividad física, debido a la rutina ajetreada ó los cambios de estilo de vida, valiéndose en el mercado de más de 53 mil millones de pesos por su consumo tanto dentro como fuera de los hogares de esta comida considerada “Comida chatarra”, lo que desata enfermedades en los habitantes, el alto consumo de estos snacks se ha relacionado con una mayor incidencia y prevalencia de enfermedades como la hipertensión, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares en adultos, niños y adolescentes, debido a la mala nutrición, esto implica una deficiencia o suficiencia de kcal/d que debemos consumir diarias.

Según la autora (Mintel,2024) la evolución de los productos de panadería y snack a base de proteína vegetales es creciente desde enero 1996 - diciembre 2023 ha tenido un crecimiento exponencial con un consumo promedio de 5000 productos hasta la fecha

Uno de cada 3 consumidores mexicanos incorpora snacks en su dieta, con un promedio del 73% de la población que consume un promedio de 1.6 snack por día. Entre los que informaron consumir, el número promedio fue mayor; 2 snacks/día, que representaron casi 350 kcal/d, esto respondiendo a un deseo por saciar su hambre. Es por eso que, dados los datos de la alta demanda de consumo de snacks que la mayoría de ellos no tienen un valor beneficioso a la salud, nace la inquietud de crear uno que sea funcional, que al ser incorporado en la dieta nos dé un aporte proteico altamente nutritivo, que sacie el hambre y el deseo, sea favorable a la salud.

Los snacks y aperitivos proporcionan una forma conveniente para que los consumidores aumenten su ingesta de proteínas, por eso se formuló un nuevo producto alimenticio, con opciones innovadoras de proteínas, provenientes del

insecto *Shepenarium purpurascens*, y las harinas de cereales, *Zea mays* y *Amaranthus*.

4. ANTECEDENTES

4.1 Alimentos funcionales

Según la FAO, se considera alimento funcional todo aquel que por su naturaleza o elaboración contiene niveles significativos de componentes biológicamente activos, que proporcionan beneficios deseables a la salud, más allá de la nutrición básica.

Estos contienen uno o más componentes que influyen positivamente en la función fisiológica, mejora la función cognitiva, reducir la inflamación, regular el estado de ánimo y previenen o tratan enfermedades como alternativas naturales siempre y cuando formen parte de una dieta equilibrada.

Es por eso que el desarrollo y la disponibilidad de alimentos funcionales ha crecido en los años reciente, impulsados por las demandas de los consumidores de propiedades beneficiosas para la salud en sus alimentos y con las crecientes preocupaciones, los consumidores exigen alimentos de alta calidad que conserven todas las cualidades nutricionales junto con las propiedades organolépticas. Esta tendencia ha dado lugar a un mercado global grande y de rápido crecimiento, valorado actualmente en unos 260 millones de dólares. Estas demandas de los consumidores y el tamaño del mercado, ha generado un intenso enfoque en la investigación, el desarrollo y la comercialización de nuevos y novedosos alimentos funcionales

Los alimentos funcionales tienden a dividirse en dos categorías:

convencionales y modificados.

4.1.1 Alimentos convencionales

Los alimentos funcionales *convencionales* son alimentos integrales ricos en nutrientes como minerales, antioxidantes, vitaminas y grasas saludables que promueven la salud del corazón (*Figura 1*)

- Verduras como la col rizada, las espinacas, el brócoli y la coliflor
- Frutas como bayas, peras, duraznos, manzanas, plátanos

- Semillas como semillas de calabaza, semillas de lino, semillas de cáñamo y semillas de chía
- Frutos secos como almendras, macadamias, nueces de Brasil
- Mariscos como sardinas, anchoas, salmón y bacalao
- Cereales integrales como avena, cebada, arroz integral y trigo sarraceno
- Legumbres como judías negras, garbanzos y lentejas
- Hierbas y especias como pimienta de cayena, cúrcuma, canela y jengibre
- Alimentos fermentados como el kimchi y el chucrut
- Bebidas como el té verde y el café



Figura 1. Alimentos convencionales

4.1.1.2 Alimentos modificados

Los alimentos funcionales *modificados* son alimentos que han sido adaptados y fortificados con ingredientes adicionales como probióticos, prebióticos, vitaminas y minerales añadidos para aumentar sus beneficios para la salud (*Figura 2*)

- Jugos
- Productos lácteos como la leche y el yogur
- Alternativas a la leche como la leche de almendras y anacardos
- Cereales y granola
- Panes y pastas saludables



Figura 2. Alimentos modificados

4.1.2 Ventajas

El ser alimentos funcionales ofrecen múltiples beneficios que tienen impactos positivos al organismo, sus ventajas más destacadas:

- Prevención de enfermedades
- Mejor en rendimiento físico
- Impacto en la salud mental
- Reduce los niveles de azúcar en la sangre.
- Reduce los niveles de colesterol en sangre.
- Acelera el metabolismo.
- Ofrece un equilibrio para el buen funcionamiento de la flora intestinal.
- Aumenta la capacidad de concentración.

4.1.3 Desventajas

Los alimentos funcionales, aunque son beneficios, también pueden contener desventajas en su consumo, por ejemplo:

- Posibles efectos secundarios (alergias/intoxicaciones)
- Adicción a suplementos
- Costos
- Disponibilidad/Accesibilidad

4.2 Snack

Término en inglés puede ser traducido al español como aperitivo, bocadillos, botana, que hace referencia a una comida rápida y ligera, pueden ser dulces o saladas, listos para comer. Su finalidad es entretener a través de un aperitivo el

estómago para que de esta forma no se sienta completamente lleno o completamente vacío, como se muestra (Figura 3).



Figura 3. Ejemplos de snacks

4.2.1 Productos

- A base de cereales, verduras u hortalizas (palomitas de maíz, tortillas y aperitivos fritos y extrusionados)
- Frutos secos (almendra, avellana, nueces, cacahuete, pistachos, piñones, pecanas, anacardos, macadamias)
- Semillas (de girasol o de calabaza)
- Frutas desecadas (ciruelas desecadas, uvas pasas, dátiles, higos secos, arándanos).

Debido a que los snacks se les denominaba “comida basura” en los años 90 por su alto contenido de azúcares, grasas, sodio, además que esto daba pauta a los problemas de obesidad, se consiguió rediseñar los alimentos tipo snack con algunos ingredientes nutritivos y sustituyendo las grasas, teniendo ahora más popularidad.

4.2.2 Desventajas

Los snacks salados con su alto contenido calórico (en promedio 132 calorías por porción estándar de 25 g) y su bajo contenido en proteínas y alto contenido en sodio. Además, el alto consumo de estos snacks se ha relacionado con una mayor incidencia y prevalencia de enfermedades como la hipertensión, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares en adultos, niños y adolescentes. Debido a lo anterior, existe una tendencia actual a desarrollar snacks alternativos que no influyan negativamente en la salud de los consumidores a la hora de satisfacer sus apetitos (Moore y col., 2019).

4.2.3 Ventajas

Siendo una ventaja estos formatos ya que proporcionan una forma conveniente para que los consumidores mejoren su salud digestiva, potenciar su energía, reforzar su sistema inmunológico, incrementar su ingesta de proteínas de origen vegetal/insectos, debido a su accesibilidad, apariencia atractiva, disponibilidad en varios tamaños y formas, además que son fáciles de transportar, siendo opciones atractivas para todas las edades, incluidos niños, adolescentes y la población en general, independientemente de la hora del día.

Los consumidores a nivel mundial demandan mejores productos más saludables a la hora de comprar snacks y prefieren con menos ingredientes, que sean claros en su proceso de elaboración, que contengan la menor cantidad de conservantes posible y aporten energía durante todo el día para cumplir con su ajetreada agenda.

Los snacks pueden ser una excelente opción para satisfacer antojos y mantener la energía durante el día, además de saciar el antojo, con la gran variedad de opciones disponibles reformuladas e innovadas actualmente, y sin sellos, puedes encontrar snacks en el mercado, que sean deliciosos, de alta calidad y saludables.

4.3 Maíz

El maíz (*Zea mays*) se originó en Mesoamérica y se diseminó rápidamente al resto del mundo, es un cultivo de cereales con granos comestibles y es miembro de la familia de las gramíneas *Poaceae*. Es uno de los cultivos que goza de gran importancia económica mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima aplicaciones industriales, con una producción anual total de unos 1151 millones de toneladas en 2022/23 (FAO, 2023).

El maíz es también uno de los granos estratégicos más comunes que desempeña un papel importante en la seguridad alimentaria y los medios de vida de los agricultores. El cultivo suministra cantidades significativas de nutrientes que motivan a las industrias alimentarias a producir muchos alimentos a base de maíz.

4.3.1 Composición nutricional del maíz

La composición nutricional básica del grano de maíz se refleja en la (Tabla 1). El endospermo es básicamente almidón, pero también posee algunas proteínas y trazas de aceites. La mayoría de los aceites se encuentran contenidos en el germen, el cual presenta un elevado contenido proteico. Por otro lado, los azúcares se encuentran almacenados en su mayor parte en el germen.

Tabla 1. Composición nutricional del maíz

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8	18.4
Extracto etéreo	1	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcares	0.34	0.62	10.8

*Extraído de: Watson, 1987

El almidón (amilosa (25-30%) y la amilopectina (70-75%)) constituyen hasta el 72-73 % del peso del grano de maíz. Otros hidratos de carbono presentes son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano (FAO, 1993).

La fibra dietética es el cuarto componente mayoritario localizándose fundamentalmente en el pericarpio. La fibra insoluble está en mayor proporción que la fibra soluble, mientras que los granos enteros tendrán mayor cantidad de fibra que los granos descascarados.

El fósforo y el potasio son los minerales más abundantes del grano de maíz. Contiene además dos vitaminas liposolubles, la vitamina E y la provitamina A (carotenoide). La mayor parte de los carotenoides se localizan en el endospermo duro del grano y en pequeñas cantidades en el germen, conteniendo β -caroteno en una proporción en torno al 20% del total de los carotenoides presentes en el grano, mientras que la criptoxantina equivale al 51 % del total de los carotenoides.

La vitamina E se localiza en el germen, principalmente. Las vitaminas hidrosolubles tienen una mayor abundancia en la capa de aleurona del grano, perdiéndose una buena parte a la hora de elaborar el cereal. En general debemos tener en cuenta que durante la maduración la composición química se modifica disminuyendo la cantidad de nitrógeno, fibra o ceniza (respecto al peso seco), aumentando por otro lado la cantidad de almidón y de extracto etéreo.

4.3.2 Tipos de maíz

México tiene el mayor consumo per cápita mundial y la mayor diversidad genética con más de 300 variedades de granos de maíz nativo. Los tipos principales son amarillo (A) blanco (B), azul (C), palomitas de maíz (D), dulce, pigmentado, ceroso (E), ricos en proteína de calidad y alto contenido de aceite (*Figura 4*)



Figura 4. Tipos principales de maíz

4.3.3 Procesamiento

En los diferentes países existen diferentes métodos de procesamiento, tipos de alimentos a base de maíz y cultura de consumo de maíz.

Las técnicas tradicionales de procesamiento del maíz pueden afectar el contenido nutricional y la disponibilidad de nutrientes; por ejemplo, durante las preparaciones alimentarias tradicionales, el pericarpio se tamiza como material no deseado, lo que resulta en la pérdida de nutrientes presentes en las estructuras del grano de maíz.

El descubrimiento de la nixtamalización fue fundamental para el desarrollo de una cultura alimentaria basada en el maíz.

4.3.3.1 Proceso de nixtamalización en maíz

La nixtamalización es un método de procesamiento de maíz que se ha aplicado desde hace 4.500 años. Es el proceso de cocinar y remojar el maíz en una solución alcalina para convertirlo en varios productos alimenticio.

El proceso tradicional consiste en cocinar los granos de maíz en una solución de cal compuesta por agua e hidróxido de calcio al 1-3% a temperaturas cercanas al punto de ebullición durante 35-70 minutos y remojar los granos en la solución de cal durante 8-16 horas. La solución de cocción de limón, conocida como *nejayote*, se desecha después de remojar y los granos de maíz cocidos se lavan y se *denominan nixtamal*. Luego, el *nixtamal* se somete a molienda que produce la masa de maíz nixtamalizada para hacer tortillas o también se puede secar y procesar en harina. Aparte del proceso tradicional, existen otros dos procesos, es decir, la nixtamalización clásica y la ecológica.

4.3.3.1.1 Nixtamalización clásica

Las cenizas de madera se utilizan como solución de cocción y remojo.

4.3.3.1.2 Nixtamalización ecológica

Se utilizan otras sales de calcio como el carbonato de calcio, el cloruro de calcio o el sulfato de calcio. En la nixtamalización ecológica, la disociación de las sales no libera iones de hidróxido que alteran los enlaces éster rígidos de los componentes que soportan el pericarpio. De acuerdo con *Campechano-Carrera y col. (2012)*, la nixtamalización ecológica tiene menores efectos contaminantes para el medio ambiente debido a la menor cantidad de residuos y al *nejayote* casi neutro. Por lo tanto, sería más ideal utilizarlo para mejorar las características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales de los productos de maíz con menos subproductos nocivos liberados en el medio ambiente.

4.3.4 Ventajas

Algunas de estas ventajas nutricionales reportadas incluyen un mejor contenido de calcio, una mejor biodisponibilidad de la niacina y el desarrollo de compuestos de color y sabor que hacen que los productos de maíz sean más palatables; Sin este tratamiento, las carencias nutricionales del grano habrían impedido una dieta basada en él ya que esta aumenta la salud, buena digestibilidad de las proteínas, la biodisponibilidad de aminoácidos esenciales, es uno de los métodos normales de procesamiento que mejora la calidad nutricional del maíz y ayuda a desarrollar algunos tipos de alimentos a base de maíz que podrían ser nutritivos y convenientes para su utilización.

4.3.5 Productos

El principal producto alimenticio del maíz nixtamalizado son las tortillas (*Figura 5*), la fabricación de cereales para el desayuno, tamales, pozole, bocadillos, jarabes, harinas y snack's, como los totopos/churritos. Los alimentos tradicionales e industrializados proporcionan gran parte de la energía, las proteínas, los micronutrientes y los fitoquímicos necesarios para muchas personas.



Figura 5. Producto principal de la nixtamalización del maíz

En la actualidad los ingredientes nativos, como es el caso del maíz en México, son algunos de los que comienzan a posicionarse dentro de los más imperantes en la elaboración de snacks en América Latina.

El maíz contribuye con el 18% de la energía requerida al día. Es más que un alimento, por sus propiedades es considerado un producto nutracéutico.

Aunque todas las variedades de maíz comparten propiedades comunes utilizaremos como potenciador el maíz azul, que tiene beneficios nutricionales de los maíces pigmentados debido al aporte de proteína, grasas y carbohidratos, estos maíces contienen compuestos bioactivos (flavonoides, ácidos fenólicos, antocianinas y carotenoides) (Paulsmeyer y col., 2022) las cuales contribuyen la disminución del riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles como la obesidad, diabetes hipertensión y cáncer (Zhang y col., 2019).

4.3.6 Harinas

El mercado y la industria de la harina de maíz son relativamente recientes. No existían antes de los años cincuenta, ni en México ni en el mundo. Estos surgieron con la creación de la empresa mexicana Gruma en 1949 y se desarrollaron tanto a nivel nacional como mundial en las décadas de los cincuenta y sesenta.

El mercado de harina de maíz posee gran importancia para la economía mexicana y para los mexicanos, por qué: en primer lugar, es un alimento básico en la dieta de las familias mexicanas; en segundo lugar, a nivel cultural y social tiene un valor estratégico; en tercer lugar, genera una gran cantidad de empleos y valor de la producción, y, en cuarto lugar, en términos macroeconómicos es un bien estratégico para la estabilidad y el control de la inflación.

Además, que diversos estudios han demostrado que las harinas de maíces nativos pigmentados, particularmente de maíces de color azul, son fuente importante de nutrientes y compuestos bioactivos; los cuales presentan propiedades fisicoquímicas y tecnológicas adecuadas para emplearse en la elaboración de alimentos potencialmente funcionales (Hernández-Santos y col., 2023

4.3.6.1 Proceso

El proceso para la fabricación de harinas, lleva la secuencia de estos puntos, para asegurar que no pierda sus valores nutricionales y su color característico.

1. Selección y limpieza del maíz: Se seleccionan granos de maíz azul de alta calidad y se limpian para eliminar impurezas.

2. Nixtamalización: Los granos de maíz se cocinan en una solución de agua con cal (hidróxido de calcio) para ablandarlos y mejorar su valor nutricional.
3. Enjuague y remojo: Después de la cocción, los granos se enjuagan para eliminar el exceso de cal y se dejan en remojo.
4. Molienda: Los granos nixtamalizados se muelen para obtener una masa conocida como "masa de nixtamal".
5. Secado: La masa se seca para eliminar la humedad y facilitar su almacenamiento.
6. Molienda final: La masa seca se muele nuevamente para obtener una harina fina y uniforme.
7. Tamizado y envasado: La harina se tamiza para eliminar grumos y se envasa para su distribución.

4.3.6.2 Maseca

MASECA es una empresa mexicana fundada hace 70 años con el sueño de revolucionar el maíz y la forma de llevar el alimento milenario de México, la tortilla, a la mesa de cada familia mexicana.

Es un alimento tradicional de la más alta calidad, que preserva el arte del nixtamal libre de gluten y enriquecido con ácido fólico, hierro, zinc, vitaminas B1, B2 y B3.

MASECA fabrica diferentes presentaciones como se muestra en la *figura 6*.



Figura 6. Tipos de harinas de la marca MASECA

4.4 Insectos comestible como fuente alternativa de proteínas

Los insectos son animales invertebrados, que pertenecen al filo Arthropoda. Su biomasa representa el 95% del reino animal con una enorme biodiversidad; y han formado parte de nuestra alimentación desde la época prehispánica. México cuenta con 549 especies comestibles y es uno de los países más ricos en insectos, con un contenido de proteínas comparable al de las fuentes animales tradicionales, las inquietudes sobre el impacto ambiental de la ganadería, junto con la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, han impulsado la incorporación de insectos como una fuente de proteínas sostenible para la alimentación humana y animal.

4.4.1 *Sphenarium purpurascens*

En México, *Sphenarium purpurascens* (Figura 7) (deriva del griego y significa 'alas rectas') es un insecto comúnmente conocido como "chapulín" que proviene del náhuatl que significa 'insecto que rebota como pelota de hule', es un insecto con alas, y varios estudios que se han realizado sobre esta especie de saltamontes, los datos encontrados revelan que *S. purpurascens* tiene un mayor contenido en proteínas que algunas fuentes convencionales de origen animal, con un importante aporte de grasas, carbohidratos, minerales (zinc, Mg, Ca) y su perfil de aminoácidos, cumple con los requerimientos de la FAO; también contienen altas proporciones de vitamina A, considerándose una alternativa para combatir la desnutrición.

Si bien los insectos enteros pueden no ser ampliamente aceptados en algunas áreas, la aceptación de los consumidores tiende a aumentar cuando estos insectos se procesan y se utilizan en productos alimenticios



Figura 7. Insecto *Sphenarium purpurascens* (chapulín)

4.4.1.2 Ubicación geográfica

Es el ortóptero más abundante, y tiene una distribución geográfica muy amplia que incluye el centro, sur y oeste del país abarcando estados como Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, Distrito Federal, Estado de México, Chiapas y Tabasco (Figura 8).



Figura 8. Distribución geográfica del *Sphenarium purpurascens*

4.4.1.3 Características

Este insecto es un pirgomorfo con un cuerpo robusto y fusiforme (Figura 9), La cabeza de los chapulines está alineada en un ángulo recto con el cuerpo, con la boca orientada hacia abajo y antenas de longitud media. El aparato bucal de los chapulines es de tipo masticador, con mandíbulas fuertes, adecuadas para cortar y triturar alimentos como hojas y tallos.

El tercer par de patas está adaptado para saltar, lo que les permite realizar grandes saltos y es una característica distintiva. Tienen dos pares de alas, que pueden ser muy reducidas o incluso ausentes.

Algunos estudios mostraron que *S. purpurascens* puede presentar diferencias en el color del cuerpo, dependiendo del entorno de desarrollo. Los más comunes son el verde, el negro, el gris y el marrón.

Los adultos pueden tener diferentes tamaños dependiendo del sexo; el macho puede medir aproximadamente 2.08 ± 0.17 cm de largo y 0.78 ± 0.7 cm de ancho y la hembra puede medir 2.10 ± 0.19 cm de largo y 0.83 ± 0.7 cm de ancho.

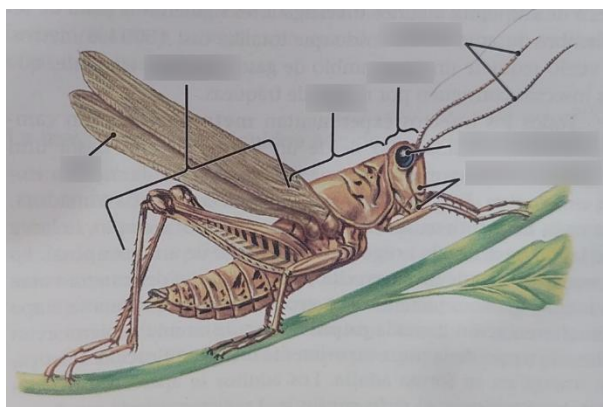


Figura 9. Diagrama de chapulín (*Sphenarium purpurascens*)

4.4.1.4 Hábitat y alimentación

Se encuentra normalmente en pastizales, praderas o cultivos (maíz (*Figura 10*), sorgo, alfalfa, etc.), su dieta principal es de hojas y tallos.



Figura 10. Hábitat del chapulín (Shepenarium purpurascens)

4.4.1.5 Recolección

Sphenarium purpurascens es un insecto considerado como una plaga agrícola en diferentes cultivos, la recolección de estos insectos es una actividad local, que podría obtener cantidades considerables de saltamontes en las temporadas altas (ciclo de reproducción) comúnmente en las estaciones de primavera y verano, esto con la ayuda de una malla grande, que este al mover los tallos hacen que salten y caigan en ella, siendo más fácil su captura para después procesarlos (*Figura 11*)



Figura 11. Recolección del chapulín

4.4.2 Harina de *Sphenarium Purpurascens*

Una opción para los insectos que no se consumen habitualmente es procesarlos para obtener subproductos que puedan ser utilizados como ingredientes funcionales. Esto facilitaría su integración en la industria alimentaria como alimentos nutraceuticos con diversas actividades biológicas. La fortificación de alimentos con harina de *Sphenarium purpurascens* puede resultar en productos nutritivos, ricos en proteínas y disponibles durante todo el año. Sin embargo, hay poca información científica confiable sobre estos insectos.

4.4.2.1 Obtención de la harina de *Sphenarium Purpurascens*

De acuerdo a la metodología reportada por *Cuj-Laines y col. (2018)* la obtención de esta se lleva a cabo, obteniendo la materia prima, chapulines previamente asfixiados, se secan a 65°C durante 24 h, y luego molerlo hasta que las partículas alcanzaron un tamaño de malla de 35 (0.50 mm). Teniendo un color final café (*Figura 12*).



Figura 12. Harina de chapulín (S. pupurascens)

4.5 Amaranto

La palabra "Amaranto" viene del griego y significa "eterno, perdurable" esta connotación se adaptó a esta planta por su resistencia a la sequía. En su significado precolombino en México se denominó Huautli, palabra de origen náhuatl que significa inmortal debido a que la semilla no se descompone. También tiene la denominación Alegría, la cual fue otorgada por *Fray Martín de Valencia* en Santiago Tulyehualco, basada en la alegría por ver los campos sembrados y por los brinquitos de la semilla al reventarse en el comal, del género *Amaranthus*, la familia *Amaranthaceae*, cultivado por las civilizaciones prehispánicas, se utiliza principalmente los granos y como vegetales verdes (*Figura 13*)

La palabra "amaranto" se refiere al grupo de unas 60 especies de este género. Desde la antigüedad, tres especies de amaranto se han cultivado íntegramente para granos: *A. cruentus* (amaranto rojo), *A. caudatus* (amor-mentira-sangrante) y *A. hypochondriacus* (pluma de príncipe de Gales) las dos últimas más comunes en México. Debido a sus múltiples beneficios agronómicos y nutricionales, el amaranto, un cultivo subutilizado, ha aumentado recientemente su popularidad. Dado que se sabe que es un cultivo resistente a la sequía, potencial que presenta en la elaboración de nuevos productos alimenticios, sus beneficios nutricionales y puede prosperar en una variedad de condiciones climáticas.



Figura 13. Cultivo de Amaranthus, en el municipio de Temoac Morelos.

4.5.1 Propiedades

El amaranto tiene un mayor nivel de proteínas, un menor contenido de grasa, un mayor contenido de carbohidratos y menos contenido de cenizas, (*Tabla 2*).

El amaranto tiene un alto contenido de lisina (5,2-6,1 g / 100 g de proteína) y, por lo tanto, tiene una composición de aminoácidos bien equilibrada y satisface las necesidades de la dieta humana para la mayoría de los aminoácidos esenciales (alanina, valina, leucina, arginina, fenilalanina, metionina, triptófano, isoleucina y serina) por lo que se puede usar el amaranto como sustituto de los cereales nutritivos. Se ha reportado que el contenido de proteínas del grano de amaranto está relativamente cerca de las pautas recomendadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud, debido a su perfil de aminoácidos equilibrado.

La FAO/OMS recomienda una ingesta diaria de 0,75 g de proteína por kilogramo de peso corporal para los adultos (*Murya y Pratibha, 2018*). Entre las verduras de hoja verde y los cereales, las especies de *amaranto* son reconocidas como un almacén de vitaminas esenciales como la vitamina B₆, C, ácido fólico, así como caroteno, que es un precursor de la vitamina A (*Mekonnen y col., 2018*). El amaranto contiene niveles notablemente más altos de magnesio, calcio, sodio, zinc y hierro que la quinua (*Krkoskova y Mrazova, 2005*).

Tabla 1. Componentes nutricionales del amaranto

Pseudocereales	Componentes	Valores
Amaranto	Composición próxima	%
	Proteína	17.4-33.5
		13.1-21.0
		12.5-17.6
		15.2
	Gordo	5.6-10
		1.9-9.7
		10.6
		8
	Ceniza	2.5-4
		3.2
	Fibra	3.1-5.0
		6.6
	Carbohidratos	48-69
	Minerales	67.3 (mg/kg)
		De 2300 a
	Magnesio	3360
	Calcio	1300-2850
	Sodio	160-480
	Hierro	72-174
	Zinc	36.2-40

Extraído de: *Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors.*

4.5.2 Composición bioactiva

- Ácidos Fenólicos, se encuentran principalmente en la cubierta de la semilla.
- Betalaínas, pigmentos que contienen nitrógeno, la amarantina y la isoamarantina son dos betacianinas que se encuentran en el amaranto.
- Tocoferoles son homólogos de la vitamina E, investigaciones registraron que, en las semillas de amaranto, los tocoferoles más prevalentes son el α -tocoferol, el β -tocoferol, el γ -tocoferol y el δ -tocoferol, poseen potentes propiedades antioxidantes y desempeñan importantes funciones fisiológicas, como el control de la coagulación de la sangre, la regulación de los procesos metabólicos, la reducción de la inflamación y la lucha contra el cáncer.

- Carotenoides, actúan como antioxidantes que el cuerpo puede convertir en vitamina A, los ácidos grasos poliinsaturados de alta calidad, luteína se pueden encontrar en las semillas de amaranto, que son sensibles a las altas temperaturas y pueden oxidarse, lo que afecta en la calidad y sabor de este.
- Proantocianidinas, también conocidos como taninos condensados, se ha descubierto que tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antidiabéticas y anticancerosas y se han relacionado con una disminución en la prevalencia de diversas enfermedades crónicas. Estos pueden emplearse para desarrollar alimentos con propiedades funcionales que mejoren la salud humana.

4.5.3 Ventajas

El amaranto es libre de gluten, lo que lo convierte en una opción para las personas celiacas.

4.5.4 Desventajas

Los factores anti nutricionales, pueden reducir el valor nutricional de los alimentos al impedir la digestión, absorción o utilización de nutrientes y, si se consumen en grandes cantidades, tienen un impacto negativo en la salud.

En los granos de amaranto hay pequeñas cantidades de saponinas que varían de 0,9 a 4,91 mg/kg, mientras que el contenido de ácido fítico oscila entre 2,9 y 7,9 g/kg (*Thakur, y col., 2021*). Al comparar el amaranto con otros cereales comunes como el trigo y el maíz, solo hay trazas de inhibidores de la proteasa (tripsina y quimotripsina), mientras que los nitratos se concentran en las hojas en lugar de en los granos, lo que lo convierte en una opción más segura para el consumo (*Rastogi y Shukla, 2013*).

4.5.5 Ubicación

El amaranto es un cultivo que prospera en regiones de temporal siendo así de baja precipitación. Es muy resistente a la sequía y al calor y requiere menos cantidad de agua. Es un cultivo fácil de establecer y crece vigorosamente, adaptándose a nuevos medios; sembrándose principalmente en los estados de Morelos, Puebla, Tlaxcala, Estado de México y Oaxaca (*Figura 14*).



Figura 14. Estados donde se siembra en mayor porcentaje el Amaranthus

4.5.6 Productos

El amaranto es versátil en la rama alimenticia, puede ser procesada para agregar valor y proporcionar a los clientes la nutrición que necesitan (*Figura 15*):



Figura 15. Productos elaborados con harina de Amaranto

- Panificación: Sustitución parcial de la harina de trigo por la de amaranto.
- Pasteles: Incorporación de la harina de amaranto (40%) en la formulación
- Alegrías: Es un dulce tradicional, elaborado con semillas tostadas y mezcladas con miel y piloncillo, además que estas también pueden darle forma de figuras que se utilizan mucho en las ofrendas.
- Galletas y bizcochos: Utilizando (25%) de harina de amaranto.
- Bebidas: Elaborados con las semillas molidas y añadiendo saborizantes.
- Ensaladas: Las hojas tiernas del amaranto es consumido como quelites, tienen semejanza a las espinacas.
- Pasta: Sustituir una parte de la harina de trigo por harina de amaranto (30%)

4.6 Extrusión

La cocción por extrusión es un proceso muy utilizado en la industria alimentaria en la formación de diversos tipos de alimentos, y este proceso puede definirse como un proceso termo mecánico de corta duración a alta temperatura, en el que la transferencia de calor, la transferencia de masa, el cambio de presión y la fuerza de cizallamiento producen conjuntamente la cocción, el transporte, el amasado y la mezcla (*Téllez-Morales y col., 2022*). Dando características específicas de textura, forma y sabor.

Las extrusoras de un solo tornillo tienen solo un tornillo en el cilindro metálico (Figura 16 2b), y toda la extrusora incluye tres partes: la sección de alimentación, la sección de transición y la sección de dosificación.

Cuando el material se entrega a la matriz, la presión se libera repentinamente y parte de la humedad del producto se evapora rápidamente, lo que hace que el producto se hinche. La estructura de la extrusora de un solo tornillo es simple, pero el control del producto terminado y sus características es complicado (*Dalbhat,y col. , 2019*).

Las extrusoras de doble tornillo constan de dos tornillos co-rotativos o contragiratorios (Figura 16 2b-c). En comparación con las extrusoras de un solo tornillo, las extrusoras de doble tornillo tienen varias ventajas: mezclan los materiales más a fondo; Proporcionan materiales viscosos y de alta humedad con alta eficiencia y un tiempo de residencia estrecho; y son más flexibles a la hora de controlar variables como el tiempo, la temperatura y la velocidad del *tornillo* (Rosentrater y Evers, 2018, Dalbhagat y col., 2019)

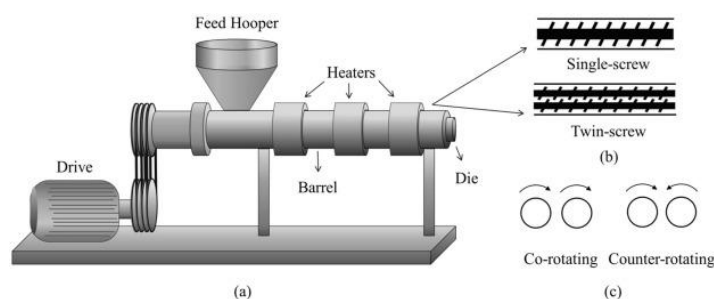


Figura 16. Estructura básica de la extrusora (a) Tornillo simple y doble tornillo (b) Tornillo co--rotativo y contrarrotante.

4.6.1 Desventajas

Las extrusoras de doble tornillo son el alto costo, la complejidad de la maquinaria y que son menos robustas.

4.6.2 Ventajas

Las ventajas de la tecnología de extrusión incluyen su velocidad, alta productividad, gran versatilidad y bajo consumo de energía. También puede mezclar varios ingredientes, lo que es útil para el desarrollo de nuevos productos. Otro aspecto relacionado con este proceso es que es una tecnología limpia, no genera residuos. Es todo lo que entra en el sistema y sale para su uso en forma de producto.

4.6.3 Composición química de la extrusión

La composición puede variar de los alimentos por las condiciones de extrusión:

1. Después de la extrusión, el contenido de almidón en los extruidos cambia irregularmente. (*Espinosa Ramírez y col., (2021)*)
2. El proceso de extrusión suele provocar una disminución del contenido de grasa.
3. Vitamina A, vitamina E, vitamina C, tiamina y ácido fólico, son termolábiles, mientras que la vitamina D, la vitamina K, la vitamina B₂, B₆, B₁₂, el niacina y el ácido pantoténico son básicamente estables durante la extrusión. El uso de temperaturas de extrusión moderadas (<80 °C) puede retener eficazmente las vitaminas termolábiles y reducir la pérdida de vitaminas

4.6.4 Contribuciones de los extruidos a la salud

- Efecto Antidiabético: La regulación de la dieta, y los cereales desempeñan un papel vital en la supresión de la diabetes, los polifenoles, especialmente los flavonoides, tienen un efecto hipoglucemiante al inhibir la α -glucosidasa y la amilasa pancreática, las enzimas que hidrolizan el almidón (*Pessanha y col., 2021*)
- Efecto Anti obesidad: La disminución de grasa en los productos extrusionados pueden cumplir con los requisitos de un producto bajo en grasa y mejorar os cambios adversos en la calidad de los alimentos.
- Propiedades antioxidantes: La extrusión puede dar lugar a la liberación de antioxidantes en la matriz alimentaria, aumentando así la capacidad antioxidante.

5. METODOLOGÍA

5.1 Materias primas

Las materias que se utilizaron en la investigación se obtuvieron: La harina de chapulín (*Sphenarium Purpurascens*) se adquirió ya procesada, de la marca IN INSECT NUTRITION, mientras que la harina, de maíz azul (*Zea Mays*) nixtamalizada (marca MASECA) fue comprada en un centro comercial de la localidad (Figura 17) y la obtención de la harina de amaranto se realizó mediante la molienda de amaranto en un molino de acero inoxidable con 4 cuchillas, voltaje de 200w, ideal para granos y especias, utilizándose por cada 100g de grano un tiempo de 45 segundos, dejando una harina fina, empaquetada en bolsas ciplock conservándola para futuros análisis.

La extrucción de este diseño de snack se llevó a cabo en diferentes condiciones, pero mismo proceso, adquiriendo un extrusor de pasta, con diferentes puntas de pipeta, para dar el diseño deseado al snack; el horno utilizado fue un Horno convection HCX PLUS3 de la marca San-Son.



Figura 17. Materias primas utilizadas en esta investigación

5.2 Caracterización de las harinas

Posterior a la obtención de las harinas (*Figura 18*), se evaluó el índice de color (L^* a^* b^* c^* h^*) por medio de un colorímetro y su composición química proximal, por triplicado de cada una de las harinas, para determinar su contenido de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas, de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC.



Figura 18. Harinas analizadas en la composición química proximal

5.2.1 Índice de color de las harinas

El color de las harinas se midió de acuerdo (*Figura 19*) con la representación del espacio de color CIE L^*a^*b utilizando un colorímetro digital (modelo 3nH NR20XE, Master Supply, Juárez, Chih., México). Los parámetros determinados fueron L^* (luminosidad de valor 0 (negro) a valor 100 (blanco)), a^* (grado de enrojecimiento (valores positivos) o verdor (valores negativos)), b^* (grado de amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos)).



Figura 19. Toma de color en harina de amaranto.

5.2.2 Composición química proximal de las harinas

5.2.2.1 Determinación de humedad en harinas

Para la determinación de humedad, se necesitaron 18 crisoles previamente limpios y en peso constante, con la ayuda de unas pinzas se extrajeron de la estufa, se dejaron enfriar por un periodo de 15 minutos dentro de un desecador, trascurrido el tiempo, pesar en una balanza analítica los crisoles solos, se registró el dato y se marcaron para identificar que muestra iría, se pesaron 2 g de cada harina, vertiéndose en los crisoles correspondiente, posteriormente se metieron a la estufa por 24 horas a una temperatura de 100 - 105°C, al término de este tiempo, las muestras se transfieren a un desecador hasta enfriarlos. Posteriormente pesamos los crisoles con la muestra seca, se registra el peso obtenido para calcular el contenido de humedad a partir de la pérdida del peso de cada muestra.

Cálculos utilizados:

$$\%MTS: \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{peso de la muestra seca}) - (\text{peso del crisol solo})}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100$$

$$\text{Humedad \%} : 100 - \% MTS$$

5.2.2.2 Determinación de cenizas en harinas

La determinación de cenizas se llevó a cabo utilizando las muestras previamente secas del resultado de la determinación de humedad; los crisoles con la muestra seca se incineraron dentro de la campana de extracciones de gases a una temperatura de 90-100 °C hasta notar que no hubiera presencia de humo, para después ser sometidos a la mufla a una temperatura de 600°C por 3 horas, posteriormente se sacaron las muestras del horno, se dejaron enfriar dentro del desecador, y pesar cada una, para sacar los datos correspondientes de cenizas totales utilizando los cálculos:

$$\% \text{ Cenizas: } \frac{((\text{Peso del crisol con cenizas} - \text{peso del crisol solo}))}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100$$

Haciendo ajuste:

$$\% \text{Cenizas totales: } \frac{\% \text{ de ceniza}}{\% \text{MTS}} \times 100$$

5.2.2.3 Determinación de proteína en harinas

La determinación de proteína se realizó según el método de Kjeldhal, el cual consiste en convertir el nitrógeno proteico en nitrógeno amoniacal, y por medio de una titulación conocer el % de nitrógeno libre.

Se necesitaron matraces limpios y en peso constante, para verter en ellos 0.1 gramos de cada una de las harinas sobre papel filtro para ser sometidos a la digestión, se agregaron los 5 ml de la mezcla digestiva (ácido sulfúrico concentrado) para colocar los matraces sobre la parrilla para empezar su proceso de digestión, todo esto dentro de la cámara de extractor de humo, hasta que sea visible el cambio de color, de oscuro a verde cristalino claro, convirtiéndose en sulfato de amonio($(\text{NH}_4)\text{SO}_4$).

La destilación se realizó con el resultado de la digestión, este se diluyó con 300 ml de agua destilada, y se dejó enfriar. En un matraz Erlenmeyer, agregar 50 mL

de ácido bórico al 4% y seis gotas de indicador mixto, agregar al matraz del Kjeldahl 100 mL de NaOH al 45%, conectar a la parte destiladora del Kjeldahl, abrir la llave con cuidado, y recolectar 250 mL del destilado.

Recabada la muestra de la destilación procedemos a titular con H_2SO_4N al 0.1 usando un indicador de pH para determinar el punto final.

Se calculo la cantidad de nitrógeno presente en la muestra utilizando los mL gastados en la titulación, con la siguiente formula:

$$\%N = \frac{(mL \text{ gastados}) (N \text{ del ácido})(0.014)}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100$$

$$\% PC = \text{Resultado anterior} * \text{factor de conversion (6.25)}$$

Ajuste:

$$\% PC = \frac{\% \text{ de proteína}}{\% MTS} \times 100$$

5.2.2.4 Determinación de grasa en harinas

Análisis de grasa se determinó por el método de Soxhlet; se necesitaron 12 matraces bola fondo plano en pesos constante extrayéndolos de la estufa, dejando a temperar dentro del desecador para posteriormente ser pesado junto con las perlas para obtener un peso constante y ser registrado. Se pesaron 3 gr de cada una de las muestras sobre papel filtro enrollándolos de tal manera que no se tirara la muestra, posterior lo introducimos en los émbolos; para finalizar los émbolos fueron introducidos en el tubo extractor, embonados en el matraz previamente con 200 mL de éter etílico, para después ensamblar el equipo Soxhlet completo y verificar que el agua fluya a través del refrigerante, para obtener la grasa de cada muestra durante un periodo de 6 horas, terminando el proceso se recuperó el solvente, cada matraz fue introducido a la estufa con el residuo obtenido en la extracción, transcurrido las 24 horas sacamos el matraz de

la estufa y se dejó enfriar en el desecador por 15 minutos para pesar. Calcular los resultados obtenidos por medio de la formula:

$$\% \text{ Grasa total} = \frac{\text{Peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

5.2.2.5 Determinación de fibra cruda en harinas

Para la determinación de fibra, ocupamos 2g de la muestra desengrasada pesada en balanza analítica para posteriormente ser vertidos en vasos berzelius, y agregar 10 mL de ácido sulfúrico, se pusieron a digerir a una temperatura de 270°C aproximadamente en la parrilla tapados con vidrios de reloj, se dejó por un tiempo de 30 minutos hasta tener ebullición suave, transcurrido el tiempo, con la ayuda de unos embudos y unas telas de lino se filtró y se enjuagó la muestra con agua destilada caliente, hasta el punto de quitarle todo el ácido sulfúrico, posterior a eso, se volvió a meter la muestra recolectada a los vasos Berzelius, pero ahora con NaOH3, en las mismas condiciones de tiempo y temperatura, posterior a eso se volvió a colar y enjuagar la muestra con agua destilada caliente, ya enjuagada y sin excesos de agua la muestra se recolecta de la tela de lino poniéndolos en los crisoles limpios y previamente identificados, se somete a la estufa por 24 horas a una temperatura de 100 -103 °C, transcurrido el tiempo, se sacan de la estufa, se dejan enfriar y se pesan, para posteriormente pre incinerar las muestras en la parrilla, después ser sometido a la mufla por 3 horas a una temperatura de 600°C, transcurrido el tiempo, sacar, enfriar en el desecador y pesar para obtener la fibra de cada muestra, con los cálculos correspondientes:

$$\%F = \frac{\text{Peso crisol con fibra seca} - \text{peso crisol fibra cenizas}}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100$$

5.2.2.6 Carbohidratos y energía total

Los carbohidratos y la energía (Kcal) se calcularon con las siguientes formulas:

$$\text{Carbohidratos\%} = 100\% - (\text{Proteínas (\%)} + \text{Grasas (\%)} + \text{Humedad (\%)} + \text{Cenizas (\%)})$$

$$\text{Energía} = (4 * (\text{proteína(\%)} + (\text{carbohidratos (\%)} - \text{fibra (\%)}) + (9 * \text{grasa(\%)})$$

5.2.3 Análisis tecno-funcionales

5.2.3.1 Capacidad de retención de agua

Las 3 harinas, amaranto, maíz azul y de chapulín cada uno se realizó por triplicado; se pesó cada falco para posteriormente vaciar 0.5g de cada una de las harinas, se agregó 10 mL de agua con una pipeta, previamente identificados se llevaron al vortex por 1.5 minutos ya que la relación harina-agua fue fácil de mezclar, luego cada muestra se centrifugo durante 15 minutos, terminado el tiempo se dejó reposar por 10 minutos, para después poder decantar cada una de las muestras, el residuo precipitado se pesó, se obtuvo el promedio de los triplicados de cada muestra, (Figura 20).

El resultado se expresó como los gramos de agua retenidos por gramo de muestra.

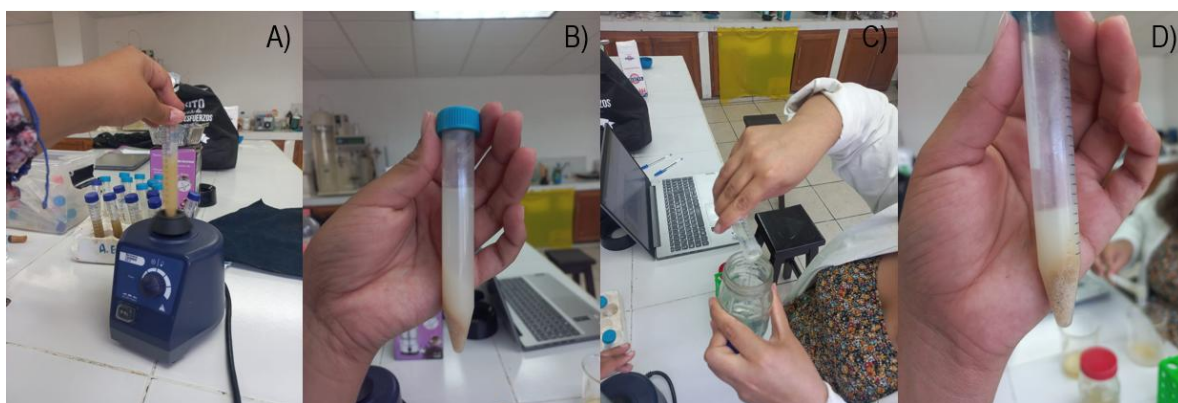


Figura 20. Proceso de la evaluación de la calidad de retención de agua, A) Disolución en Vortex, B) Muestra turbia disuelta, C) Decantación, D) Residuo precipitado

5.2.3.2 Capacidad de retención de aceite

De las harinas de amaranto, maíz azul y de chapulín cada uno se avaluó por triplicado; se pesó cada falco y se identificó con el nombre correspondiente, posteriormente se pesó 0.5g de cada harina, y después se vació a cada falco, se agregó 10 mL de aceite con una pipeta, se puso cada falco al vortex por 3 minutos o hasta tener una solución turbia, luego se centrifugo durante 15 min, terminado el tiempo se dejó reposar por 10 minutos, para después ser decantadas las muestras y pesar el residuo precipitado.

Se obtuvo el promedio de los triplicados y se calculó la retención de agua o aceite en cada harina (*Figura 21*). El resultado se expresó como los gramos de aceite retenidos por gramo de muestra.

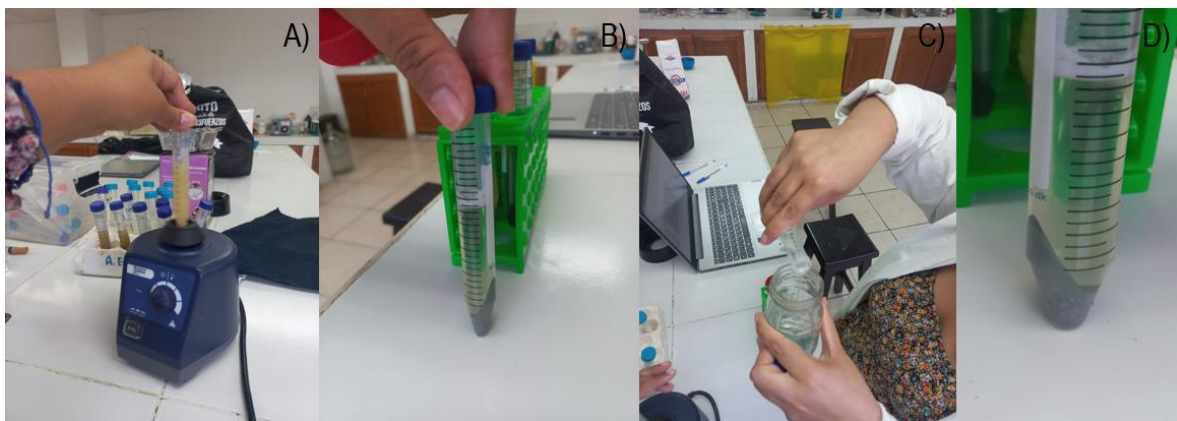


Figura 21. Proceso de la evaluación de la calidad de retención de aceite, A) Disolución en Vortex, B) Muestra turbia disuelta, C) Decantación, D) Residuo precipitado

5.3 Estudio preliminar

Se realizaron dos pruebas preliminares, que consistió en crear dos extruidos, el primero de solo 100g de harina de maíz azul con relatividad de 100mL de agua, se amasó para sentir la textura y ver su comportamiento, con los resultados obtenidos en la evaluación de retención de agua se tomó una base para añadir la cantidad requerida de agua hasta llegar a tener la textura maleable de una masa (180mL), con base a la literatura que el proceso de extrusión es altas temperaturas por cortos tiempos, la temperatura y el tiempo de precalentado se estableció en 150°C por 12 minutos, donde la harina se precalentó encima de un papel cera y una charola metálica, terminado el tiempo, la masa se volvió amasar,

donde se observó que la masa después del precalentado se pega al papel cera y es difícil de manipular, se optó por añadir una mínima cantidad de 10 mL de aceite, se volvió amasar para ahora introducir en el extrusor, se utilizó la punta de diseño de un churrito, se hizo una prueba de 15 churritos los cuales se pusieron nuevamente en la charola y en papel cera para ser sometidos a cocción el horno con las condiciones de 170° C por 9 minutos, terminado se probó para definir si la textura y el sabor era la deseada, después de la prueba sensorial se decidió añadir sal, ya que el objetivo es diseñar un snack funcional la cantidad de sodio debe ser baja se agregó 1 g; este fue considerado como muestra control (Figura 22 a)), se etiqueto y empaqueto para próximos análisis.

El segundo preliminar fue un extruido de solo harina de amaranto, el porcentaje de este fue 100g de harina con 100mL de agua con 10 mL de aceite y 1gr de sal, con los mismos parámetros de precalentado, al terminar el tiempo la textura de esta harina no era la ideal para hacer un extruido, tomo consistencia chiclosa (Figura 22 b)) adherente, en el papel cera y en las manos al manipular, se descartó para procesar ya que no tiene la textura ideal para introducir al extrusor. Corroborando la literatura, la harina de amaranto debe utilizarse en porcentajes menores, y mezcladas con otras harinas para dar textura crujiente al snack.

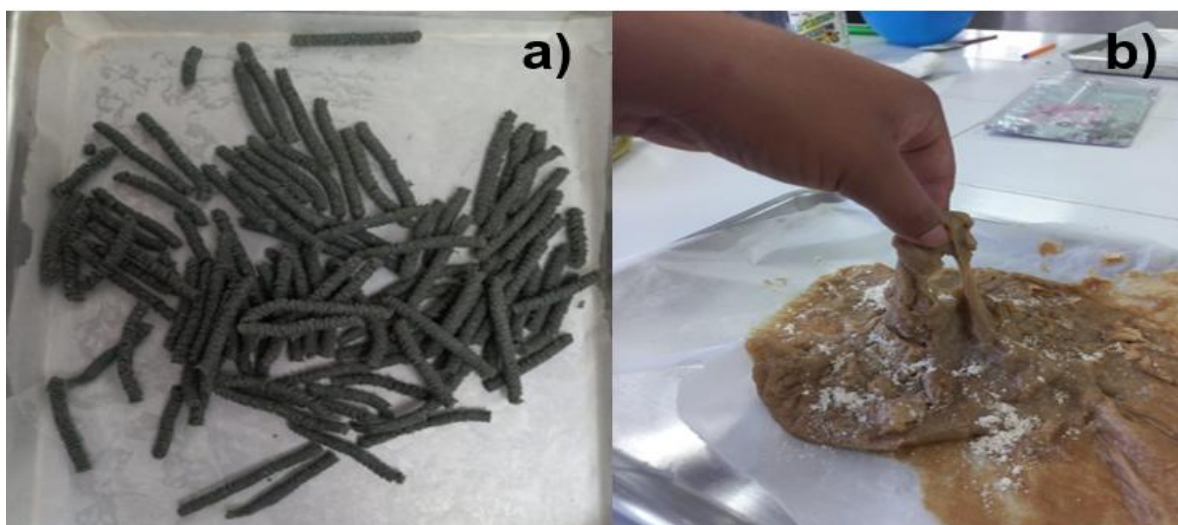


Figura 22. Formulaciones preliminares, a) Snack control, b) Consistencia de la harina de amaranto después del precalentado.

5.4 Formulaciones

Se formularon tres muestras, mezclando harina de amaranto, harina de maíz azul y harina de chapulín en tres diferentes proporciones, y 1 muestra control, previamente basado en literatura y con los estudios preliminares, quedando cada formulación así:

Tabla 2. Parámetros establecidos para cada formulación. Valores

Ingredientes	Control	T1	T2	T3
Harina de Maíz azul	100	80	70	60
Harina de Amaranto	0	10	20	30
Harina de chapulín	0	10	10	10
Agua	180	150	140	130
Sal	1	1	1	1
Aceite	10	10	10	10

La primera formulación quedo 80% de harina de maíz azul, 10% de harina de amaranto y 10% de harina de chapulín

La segunda formulación se diseñó 70% de harina de maíz azul, 20% de amaranto y 10% de harina de chapulín

La tercera formulación quedo 60% de harina de maíz azul, 30% de harina de amaranto y 10% de harina de chapulín

En las tres formulaciones se utilizó el 10% de harina de chapulín para mantener una concentración estándar y así evaluar el comportamiento de cada formulación.

5.4.1 Proceso de las formulaciones

La primera formulación (T1), se pesó 80g de harina de maiz azul, 10g de harina de amaranto y 10 g de harina de chapulin, se vertieron en un bowl para revolverlas uniformemente, con la ayuda de una probeta añadimos 150 mL de agua, y los mismos ingredientes añadidos en las preliminares 1g de sal y 10 mL de aceite, amasamos hasta incorporar todos los ingredientes, colocamos la masa esparcida sobre el papel cera, para ser sometido al precalentado en el horno con los parámetros establecidos, a 150°C por 12 minutos, transcurrido el tiempo, se amaso y se introdujo en el extrusor para darle forma al snack de churrito, cada

uno se fue poniendo sobre el papel cera para llevarlos a cocción en temperatura 170°C por 9 minutos, concluida la cocción, se dejó enfriar para ser envasados y etiquetados (*Figura 23*)



Figura 23. Extruidos del primer tratamiento

En la segunda formulacion (T2) el proceso fue el mismo, se peso 70g de harina de maiz azul, 20g de harina de amaranto y 10 g de harina de chapulin, se vertió en un bowl para revolverlas, añadimos 140 mL de agua, 1g de sal y 10 mL de aceite, amasamos hasta incorporar todos los ingredientes, ponemos esta mezcla encima de la charola metálica esparcida sobre el papel cera, para ser sometido a precalentado en el horno con los parámetros establecidos, a 150°C por 12 minutos, transcurrido el tiempo, se amaso y se introdujo en el extrusor para darle forma al snack sobre el papel cera para llevarlos a cocción en temperatura 170°C por 9 minutos, concluida la cocción, se dejó enfriar para ser envasados y etiquetados (*Figura 24*).



Figura 24. Extruidos del segundo tratamiento, envasados y etiquetados

En la tercera formulación (T3) el proceso fue el mismo, se pesó 60g de harina de maíz azul, 30g de harina de amaranto y 10g de harina de chapulín, se vertieron en un bowl para revolverlas, añadimos 130 mL de agua, y los ingredientes, 1g de sal y 10 mL de aceite, amasamos, y ya que todos los ingredientes estén incorporados, ponemos esta mezcla esparcida sobre el papel cera encima de la charola metálica para ser sometido a precalentado en el horno con los parámetros establecidos, a 150°C por 12 minutos, transcurrido el tiempo, se amasa y se introdujo en el extrusor para darle forma al snack sobre el papel cera para llevarlos a cocción en temperatura 170°C por 9 minutos, concluida la cocción, se dejó enfriar para ser envasados y etiquetados (*Figura 25*).



Figura 25. Extruidos del tercer tratamiento, envasados y etiquetados

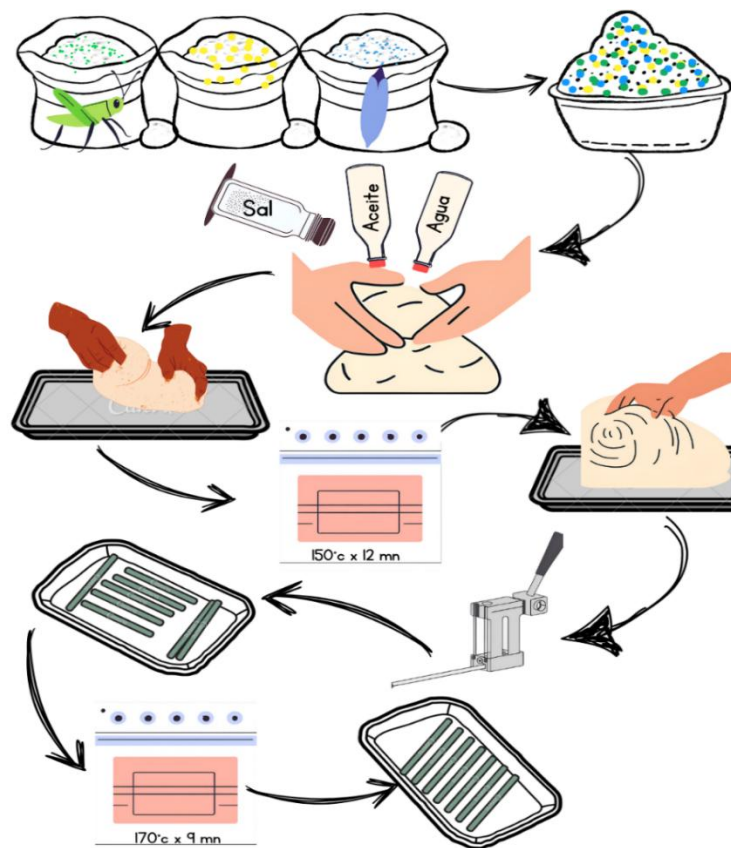


Figura 26. Metodología de la creación de los snacks

5.5 Composición química proximal de las formulaciones de los snacks

Se obtuvieron los cuatro tratamientos de los snack procesados, empacados y etiquetados, para determinar su composición química proximal de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas, de acuerdo a las técnicas reportadas por la AOAC, los carbohidratos totales se determinaron por diferencia, se molió cada muestra como lo muestra la *Figura 27*, se envaso y etiqueto como lo muestra la *Figura 28*, cada formulación se analizó por triplicado.



Figura 27. Snack de los diferentes tratamientos, molidos para sus próximos análisis



Figura 28. Muestras molidas, y envasadas

5.5.1 Determinación de humedad

La determinación de humedad en las formulaciones del snack, se llevó a cabo como lo determina el procedimiento citado en el punto **5.2.1.** según se observa la *Figura 29*, y se realizó los cálculos correspondientes.

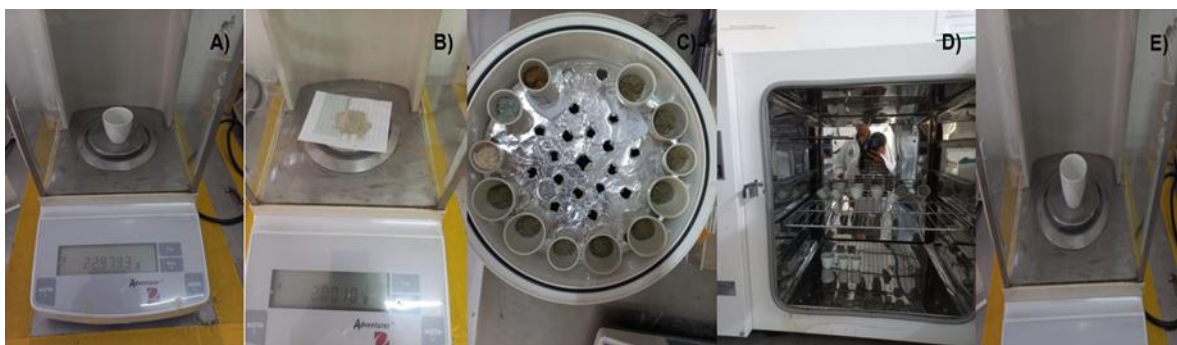


Figura 29. Procedimiento para determinar % de humedad de las muestras, A) Pesar crisoles en peso constante, B) Pesar las muestras, C) Crisoles con todas las muestras por triplicado, D) Muestras dentro del horno, E) Pesar los crisoles con la muestra seca.

5.5.2 Determinación de cenizas

Las cenizas son el residuo inorgánico que se obtiene de incinerar la materia orgánica, se determinó el contenido como lo describe el punto **5.2.2.** cómo se indica en la *figura 30*.

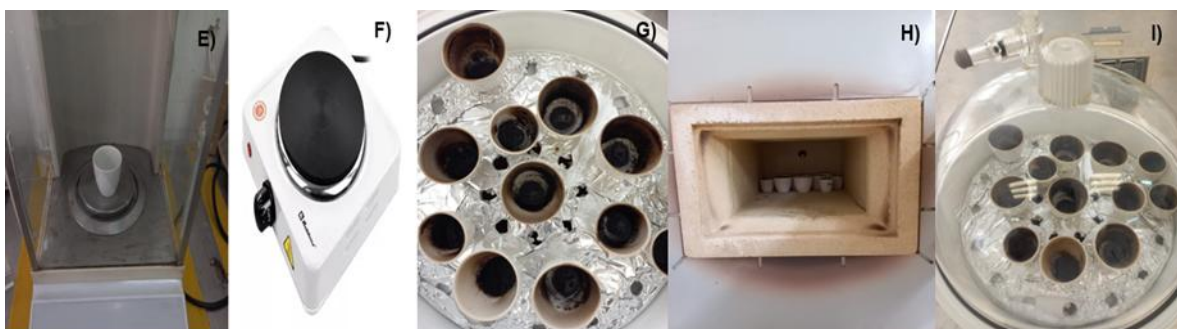


Figura 30. Determinación de % de cenizas totales, E) Muestra previamente seca, F) Pre incineración en parrilla, G) Muestras en desecador pre incineradas, H) Muestras dentro de la mufla, I) Muestras incineradas dentro del desecador listas para pesar.

5.5.3 Determinación de proteína

La determinación de proteína en cada formulación, se estableció según el método de Kjeldahl, siendo una técnica analítica utilizada para determinar el contenido de nitrógeno, el procedimiento llevado a cabo lo describe el punto 5.2.3, siguiendo los pasos como lo marca la *Figura 31-32*.

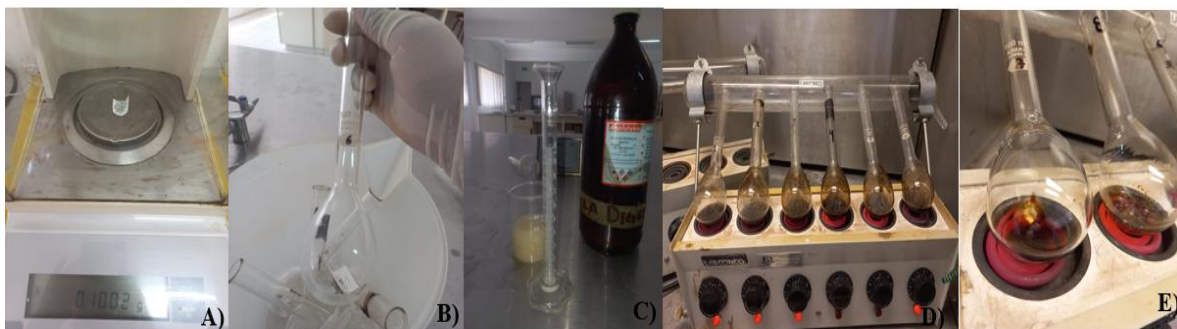


Figura 31. Proceso de digestión, A) Pesar 0.1 de las muestras, B) Matrices con muestras, C) Solución digestiva, D) Muestra digiriéndose, E) Cambio de tonalidad de la muestra.



Figura 32. Aparato destilador Kjeldhal, A) Vertiendo solución NaOH, B) Calentando el reactivo, C) Destilación

5.5.4 Determinación de grasa

El método Soxhlet se emplea para determinar grasa en productos sólidos, se siguió la metodología utilizada y descrita en el punto 5.2.4, siguiendo los pasos como lo demuestra la *Figura 33*.



Figura 33. Procedimiento para determinar grasa; A) Se peso la muestra y se introdujo en cada embolo previamente identificados, B) Peso de los matraces bola fondo plano, C) Solución Éter, D) Aparato Soxhlet conectado a las muestras, E) Peso del matraz con grasa.

5.5.5 Determinación de fibra

La fibra cruda, que es la porción indigerible de los alimentos se determinó por el método descrito y explicado en el punto 5.2.5, cómo se observa en la *Figura 34*

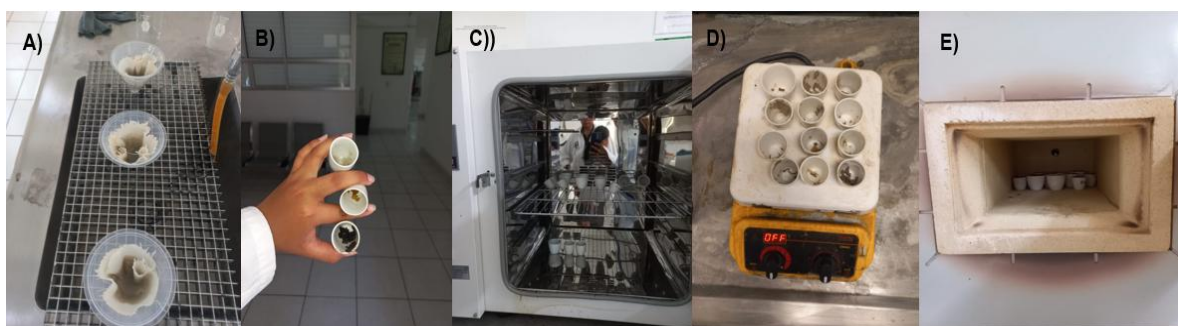


Figura 34. Parte del proceso de la determinación de fibra, A) Enjuague de la muestra con agua destilada caliente, B) Muestra recolectada en crisoles, después de las dos ebulliciones, C) Muestras en horno, D) Muestras pre incinerada, e) Muestras en la mufla.

5.5.6 Carbohidratos y energía total

Los carbohidratos y la energía (Kcal) se calcularon por formulación, tal como se expresa en el punto **5.2.6**.

5.5.7 Índice de color del snack

Se evaluó el color de las cuatro formulaciones de los snacks previamente molidos, siguiendo la metodología citada en el punto **5.2.1**.

5.6 Evaluación de compuestos bioactivos

5.6.1 Extracción de compuestos

Las extracciones se realizaron según lo reportado por *Puente-Garza y col., (2017)* con ligeras modificaciones. Se pesó una muestra de 500 mg de cada una de las harinas y de las formulaciones (Harina de amaranto, harina de chapulín, harina de maíz azul, control y las tres formulaciones) en 1 mL de metanol-agua (80:20 v/v). Se mezcló en vórtex durante 1 min y se sonicó (Branson, M3800, EE. UU.) durante 20 min. Luego se centrifugó (Z326K, HERMLE Labortechnik GmbH, Alemania) a $2000 \times g$ durante 20 min a 5°C.

5.6.2 Evaluación de Polifenoles

5.6.2.1 Polifenoles condensados

Los polifenoles condensados se cuantificaron mediante el ensayo de Butano-HCL descrito por Porter y col., (1986). La reacción se realizó añadiendo 250 μ L de la muestra, 1.5mL 1-Butanol-HLC (95:5, v/v) y 50 μ L de reactivo Férrico ($\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$) en HCL 2M, 2% (p/v). La reacción se calentó en baño de agua durante 40 minutos a 95° C, y luego se enfrió a temperatura ambiente. Las muestras se leyeron a 550 nm utilizando un lector de microplacas (Biobase-EL10A, Biobase Biodustry, China). La concentración de las muestras se determinó con una curva estándar de catequina de 0-500 ppm y se expresó en equivalentes de ácido gálico (GAE/g).

5.6.2.2 Polifenoles hidrolizables

El contenido de polifenoles se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Wong-Paz y col., (2014) utilizando el reactivo de fenol de Folin-Ciocalteu. Se colocaron 20 μL de la muestra en un pocillo de microplaca, luego se añadieron 20 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu y se mezclaron, dejándolos reaccionar durante 5 min. Transcurrido el tiempo, se añadieron 20 μL de carbonato de sodio (0,01M) y se mezcló, dejando reposar la reacción durante 5 minutos más. Finalmente, la solución se diluyó con 125 μL de agua destilada. La absorbancia se analizó a 790 nm en un lector de microplacas (Biobase-EL10A, Biobase Biodustry, China). La concentración de las muestras se determinó con una curva estándar de ácido gálico de 0-790 ppm y se expresó en equivalentes de ácido gálico (GAE/g).

(Figura 35)

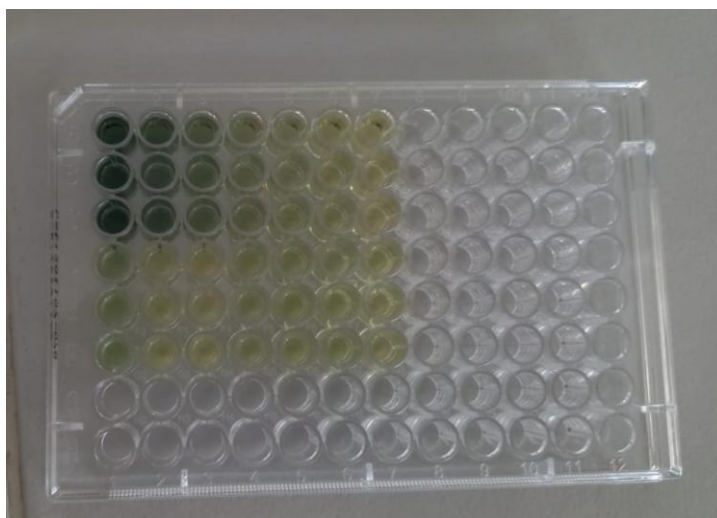


Figura 35. Microplaca con los resultados de polifenoles hidrolizables

5.6.3 Análisis antioxidantes

5.6.3.1 ABTS

El ensayo de inhibición radical ABTS-+ se realizó según la metodología de Torres-León y col., (2021) con algunas modificaciones. En primer lugar, se preparó la solución con ABTS (2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfonato de amonio) a una concentración de 7 mM y se mezcló con una solución de persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) de concentración 2,45 mM, para formar el radical catión ABTS. Esta mezcla se realizó en una proporción 1:1 (v/v) y se dejó reposar durante 12 h en oscuridad. Después de este tiempo, se diluyó con etanol grado analítico hasta ajustar su absorbancia a $0,7 \pm 0,02$ a una longitud de onda de 734 nm. Se añadieron 10 μ L de muestra en microplaca con 190 μ L de solución ABTS diluida y se dejó reaccionar durante 5 minutos en oscuridad. La absorbancia a 734 nm se midió en un lector de microplacas (Biobase-EL10A, Biobase Biodustry, China) y se utilizó etanol como blanco de lectura y ABTS-etanol como absorbancia de control. Los datos se expresaron en equivalentes de Trolox por gramo (ET/g) utilizando una curva estándar de Trolox (0-734 ppm).

5.6.3.2 DPPH

La actividad antioxidante de los extractos se realizó utilizando una solución del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), que se preparó a 60 μ M con metanol. Se siguió la metodología de Castro-López y col. (2019) con algunas modificaciones. Se colocaron 7 μ L de muestra en una microplaca con 193 μ L de la solución metanólica de DPPH y se dejó reaccionar en la oscuridad durante 30 min. Luego se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en un lector de microplacas (Biobase-EL10A, Biobase Biodustry, China). Se utilizó un blanco de lectura con metanol y como control de absorbancia DPPH-metanol. Los datos se expresaron en equivalentes de Trolox por gramo (TE/g) utilizando una curva estándar de Trolox (0-517 ppm).

5.7 Evaluación sensorial

Los snacks se evaluaron mediante pruebas afectivas de aceptabilidad para conocer la opinión de los consumidores sobre el producto. La prueba de aceptabilidad, se trabajó con un panel de 40 jueces no entrenados, con edades entre los 20 y los 33 años de edad.

Para la evaluación de los snacks se utilizó una charola blanca codificada con números aleatorios: 374 (T3), 829(T1), 562(Control) y 917(T2) respectivamente con el snack, acompañada de un vaso con agua para limpiar el paladar entre muestras, y la hoja de evaluación (*figura 36*).

Previo a la evaluación, los panelistas fueron instruidos para evaluar la muestra, teniendo en cuenta los atributos de color, olor, sabor, textura y grado de aceptación, para lo cual se utilizó una escala hedónica de 5 puntos (Me gusta mucho, me gusta moderadamente, no me gusta ni me disgusta, me disgusta moderadamente y me disgusta mucho), posterior se les pidió ordenar las muestras con el nivel de agrado donde 4 es “la que más me gusto” y el 1 “la menos me gusto”.

Genero Hombre _____ Mujer _____ Edad _____

Instrucciones: Por favor prueba cada muestra e indica el nivel de agrado, marcando con el número que corresponda a su puntaje en la escala hedónica.

Puntaje	Nivel de agrado
5	Me gusta mucho
4	Me gusta moderadamente
3	No me gusta ni me disgusta
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta mucho

Atributo	374	829	562	917
Color				
Olor				
Sabor				
Textura				
Grado de aceptación				

Ordena de acuerdo con el nivel de agrado, donde 4 es “la que más me gusto” y 1 “la que menos me gustó”.

NIVEL DE AGRADO			
374	829	562	917

Figura 16. Hoja de evaluación

5.7.1 Estudio de mercado

Se realizó una encuesta (*figura 37*) a los jueces no entrenados si están dispuestos a consumir snacks elaborados con fuentes alternativas de proteína, con qué frecuencia consumiría, y el precio dispuesto a pagar.

1. ¿Qué tan dispuesto estas a consumir snacks elaborados con fuentes alternativas de proteína como insectos?
a) Nada b) poco c) indiferente d) algo e) muy dispuesto
2. ¿Con qué frecuencia consumirías este snack si estuviera disponible en el mercado?
a) Nunca b) Rara vez c) ocasionalmente d) frecuentemente e) Muy frecuentemente
3. ¿En qué situaciones consumirías este snack? (Selecciona todas las opciones que apliquen)
a) Como botana en casa b) Como snack en el trabajo o escuela c) Como complemento en una comida d) Para después de hacer ejercicio e) Otro (especificar)
4. ¿Te parece un snack adecuado para sustituir otras frituras convencionales?
a) Si b) No c) Tal vez (¿Por qué?)
5. Si este snack estuviera disponible en el mercado, ¿qué probabilidad hay de que lo compres?
a) Definitivament e no b) Probablem ente no c) No estoy seguro d) Probablement e lo compraría e) Definitivament e lo compraría
6. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por una porción de 50 g?
a) 15 b) 20 c) 25 d) más de 25

Figura 37. Encuesta realizada a jueces no entrenados.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización de las harinas

6.1.1 Índice de color

El color es un factor clave en las cualidades sensoriales, la tabla 4 nos marca los parámetros de índice de color de cada una las harinas.

La harina de maíz azul tiene un valor de 75.33 L*, lo que indica que es más oscura, que la muestra de harina de chapulín cuyo valor es de 66.24 L* a comparación de la harina de amaranto con valor de 5.74 L* la cual es clara o luminosa.

La harina de maíz azul tiene un valor negativo (-0.92 a*) indicando un tono verdoso, en comparación con las otras dos harinas que son positivas tienden a un color más rojizo.

Las tres harinas presentan valores positivos, lo que significa están en la gama amarilla, pero la harina de amaranto 19.4 y harina de chapulín 17.2 son mucho más amarillas en comparación de la harina de maíz azul (7.4 b*)

Tabla 3 Parámetros de índice de color en las harinas.

Tratamientos	L	a	b
Harina de Maíz Azul	75.33±2.23	-0.92±0.19	7.4±0.39
Harina de Amaranto	5.74±1.61	18.61±0.20	19.47±0.58
Harina de Chapulín	66.24±2.14	8.31±0.23	17.25±0.54

6.1.2 Caracterización químico proximal

El contenido químico proximal de las harinas se muestra en la tabla 5, la cual destaca la harina de chapulín con sus valores obtenido más altos, 46.5% de proteína, y fibra con 8.68%, la harina de azul es la que nos brinda más carbohidratos con 97.27% y tiene más humedad 7.14%.

Tabla 4. Contenidos químico proximal de las harinas.

	Harina de Maíz Azul	Harina de Amaranto	Harina de chapulín
Humedad (%)	7.14 ± 0.33	5.37 ± 0.52	2.29 ± 0.18
Proteína (%)	5.43 ± 0.61	13.18 ± 0.64	46.57 ± 0.51
Grasa (%)	4.24 ± 0.43	7.19 ± 0.09	19.32 ± 0.24
Fibra cruda (%)	3.40 ± 0.19	1.7 ± 0.29	8.68 ± 0.02
Carbohidratos (%)	97.27	76.96	26.14
Cenizas (%)	1.49 ± 0.12	2.14 ± 0.69	5.68 ± 0.78
Contenido Energético (Kcal)	435.35	418.50	429.98

La harina de maíz azul presento un contenido de humedad $7.14 \pm 0.33\%$ similar al registrado por (Anaya-Esparza y col., 2024), oscila 8.16 ± 0.04 a 9.052 ± 0.02 % para la especie de harinas de maíces nativos azul México, el porcentaje de proteína y carbohidratos ($5.43 \pm 0.61\%$ y $76.61 \pm 0.1\%$) reportados en esta investigación fue inferior respecto a los valores reportados por (Anaya-Esparza y col., 2024), mientras que el contenido de grasa $4.24 \pm 0.43\%$ y ceniza $1.49 \pm 0.12\%$ fueron ligeramente mayor a los valores reportados entran en el rango de 3.97 ± 0.02 y $4.13 \pm 0.04\%$ y 1.09 ± 0.01 y $1.16 \pm 0.01\%$ respectivamente.

La composición química de la harina de amaranto presento un contenido de humedad 5.37 ± 0.52 semejante al registrado por (Boucher y col., 1995) de una humedad de 6.2 y 11.1%, el contenido de proteína cruda en todas las especies de amaranto se encuentra entre 13.2 y 17.6%, contenido de lípidos se encuentran entre 4.8 y 10.2%, la concentración de cenizas se encuentra relativamente constantes entre especies, oscila entre 2.4 y 4.1% ; lo que nos indica que nuestros valores en la tabla 5 son similares a los reportados previamente, mientras tanto la harina tiene un contenido de fibra cruda 1.7 ± 0.29 y de carbohidratos 76.96%.

La estructura química de la harina de grillo presento un contenido proteico de $49.57 \pm 0.51\%$ un poco inferior al registrado por (Aragón-García y col., 2018) de 45.80% destacando por alto contenido a comparación de las otras dos harinas evaluadas, al mismo tiempo que el contenido de grasa 19.32 ± 0.24 , ceniza 5.68 ± 0.78 y fibra cruda 8.68 ± 0.02 , varían ligeramente en lo reportado, ya que oscila

entre 14.15 y 15.41% de grasa, 3.49 ± 4.01 de ceniza y de fibra cruda 10.23 y 10.65%. Las variaciones en los contenidos de cada componente, en comparación con otros resultados de la misma especie, pueden explicarse debido a su etapa de desarrollo, hábitat y dieta (Van Huis & Oonincx, 2017). El contenido de proteína de los insectos fluctúa entre un 40 a 75 % por cada 100 g de materia seca, valores comparables a los contenidos de la carne de diferentes fuentes animales (Rosales-Escobar y col., 2018).

6.1.3 Tecno funcionales

En la *figura 38* se muestra la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de retención de aceite (CRAC) de las materias primas que fueron evaluadas: harina de amaranto (HA), harina de maíz azul (HMA) y harina de chapulín (HC). Dichas propiedades son importantes en el uso adecuado de ingredientes alimentarios, debido a que no se evalúan tienen un impacto en el procesamiento dependiendo de las características que se requieren en cada producto de panificación (Pan, Tortilla, Galleta, etc.). Indicando que la HA es la que tuvo mayor CRA con un contenido de 6.69 y una CRAC 2.35, posterior la harina de maíz azul mostro un comportamiento de CRA de 3.10 y una CRAC con 1.48, la harina con menor CRA con un contenido de 2.05 y CRAC con 1.46 fue la harina de chapulín.

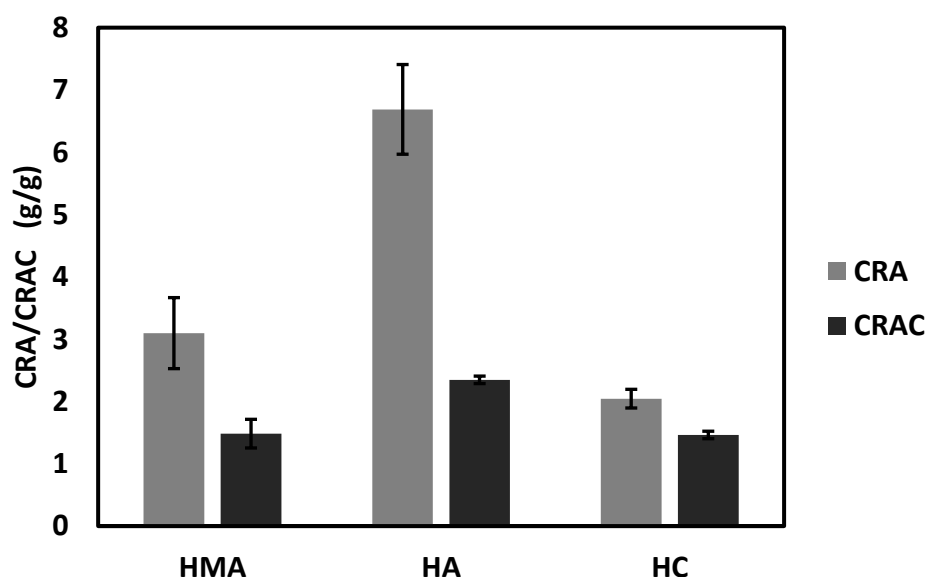


Figura 38. Grafica de la evaluación de capacidad de retención de agua y aceite en las harinas.

La harina de amaranto destaca por su alta capacidad de absorción de agua y aceite, debido a su elevado contenido de proteínas con aminoácidos polares y fibra soluble, tiene un tamaño de partículas más fino, posee propiedades funcionales emulsionantes y gelificantes, cuenta con grupos hidrofílicos; por el contrario la harina de chapulín también destaca por su contenido alto de proteínas pero estas pueden tener propiedades hidrofílicas ó hidrofóbicas para interactuar con las moléculas, afectando la textura y sabor de los productos, (Wang y col., 2021), la diferencia es que este es de origen animal que limita su capacidad de absorción del agua y aceite, en comparación con las proteínas vegetales y carece de fibras solubles, en cambio la harina de maíz azul el contener almidones su estructura es diferente el cual la capacidad de adsorción cambia, tiene fibra insoluble y menor cantidad proteica que es lo que influye en su capacidad de retención. La capacidad de estas harinas para absorber y retener aceite puede mejorar la textura y la sensación en la boca, potenciar el sabor y reducir la perdida de grasa en productos alimenticios como carnes trituras, análogos y masas horneadas (Kisambra y col., 2015).

6.2 Formulaciones

Se obtuvieron y se desarrollaron las 4 formulaciones de diferentes proporciones establecidas, como se muestra en la figura 39:



Figura 39. Características finales de los cuatro snacks.

Inicialmente tenemos el control que presento características de textura más crujientes y un color más claro a los tratamientos, su extrusión fue más dura dado que la mezcla es densa, debido que solo contiene maíz.

El T1 también obtuvo características de textura crujientes, debido a que el porcentaje de maíz azul era más elevado (80%) por lo mismo su extrusión fue dura, pero menos que la del control, en comparación al control este tratamiento obtuvo un color más oscuro/opaco.

T2, adquirió una consistencia crujiente suave a causa de que tenía el doble de contenido de harina de amaranto, beneficiando en el color, ya que es ligeramente menos oscuro al T1, y en su proceso de extrusión su comportamiento no fue denso.

El T3 presento una consistencia no tan crujiente, que al morder se percibe suavidad, tomo un color menos opaco a comparación de los 2 tratamientos esto debido a que el porcentaje de harina de amaranto fue el triple del T1 (30%) beneficiando en su elaboración, ya que a mayor contenido más fácil de extruir y menos densidad.

6.3 Caracterización del snack

6.3.1 Color de los snacks

El color de los alimentos contribuye gradualmente a nuestra apreciación estética de ellos, en la tabla 6 se nos indica el color de cada tratamiento de los snacks. El valor de luminosidad (L^*) fue semejante para los cuatro tratamientos teniendo una ligera variación, T1 es el más oscuro en comparación al T3. El valor de a^* los tres tratamientos son positivos lo que tiende a un color rojizo y el control fue negativo posee una tendencia hacia el verde

La estima de b^* en los cuatro tratamientos son valores positivos, lo que significa están en la gama amarilla, T3 15.58 y T2 13.68 son mucho más amarillas en comparación del T1 12.51 y al control.

Lo que se puede deducir que la aceptabilidad a base de color no puede ver una tendencia marcada, ya que L^* es muy similar en los cuatro tratamientos, por lo tanto, no se puede percibir la diferencia a simple vista.

Tabla 5 Parámetros del índice de color de los cuatro tratamientos.

Tratamientos	L	a	b
Control	59.14±2.35	0.12±0.35	6.38±0.53
T1	60.66±1.48	1.85±0.10	12.51±0.55
T2	59.61±2.89	2.0±0.21	13.68±1.34
T3	57.11±1.75	3.12±0.13	15.58±0.51

6.3.2 Composición químico proximal

En relación con el análisis químico proximal (tabla 7), no se encontraron variaciones notables, sin embargo, el T2 presento mayor contenido de proteína (14.23%), fibra cruda (2.18%), grasa (13.66%), humedad (8.80%), esto quiere decir que tiene mejores beneficios que el control.

Tabla 6 Composición química proximal de las cuatro formulaciones

	CONTROL	T1	T2	T3
Humedad (%)	8.33 ± 0.25	5.16 ± 0.59	8.80 ± 0.26	4.81 ± 0.17
Proteína (%)	4.16 ± 0.07	12.46 ± 0.64	14.23 ± 0.61	12.49 ± 0.95
Grasa (%)	8.37 ± 0.75	14.04 ± 0.24	13.67 ± 0.09	13.68 ± 0.43
Fibra cruda (%)	0.88 ± 0.16	2.00 ± 0.02	2.18 ± 0.29	2.33 ± 0.19
Carbohidratos (%)	76.91	85.96	86.33430714	66.23344334
Cenizas (%)	2.23 ± 0.04	2.14 ± 0.29	2.73 ± 0.00	2.79 ± 0.29
Contenido Energético (Kcal)	396.09	512.04	516.52	428.85

El T2 fue el que presento contenidos más altos a comparación de los otros dos, destaca en porcentaje de proteína con 14.23 ± 0.61, el T3 12.49 ± 0.95 y el T1 12.46 ± 0.64, no hubo una diferencia notable ya que la cantidad de harina de grillo que es la que aporta la proteína, se agregó la misma cantidad en las formulaciones, en comparación con el control 4.16 ± 0.07 la harina de chapulín

aporta 3 veces más proteína que la harina maíz azul; si este tratamiento lo comparamos con una churritos convencionales del mercado que aportan entre 5-6g por cada 100 gramos, el aporte de este snack es casi el doble de lo que podría brindar cualquier snack convencional; en contenido de humedad 8.80 ± 0.26 similar a la humedad de control 8.33 ± 0.25 , mientras tanto T1 5.16 ± 0.59 y T3 4.81 ± 0.17 tienen un contenido menor de humedad, esto puede afectar al producto en su vida de anaquel; el porcentaje de grasa fue similar en T1, T2, y T3, debido a que el mayor porcentaje de grasa se adquiere de la harina de chapulín, ya que el control aporta tan solo 8.37 ± 0.75 , este tiene un impacto en el sabor y textura del snack, además que es una fuente importante de calorías. El porcentaje de fibra cruda en el control es de 0.88 ± 0.16 a comparación de T1 2.00 ± 0.02 , T2 2.18 ± 0.29 y T3 2.33 ± 0.19 lo que podemos observar que, a mayor porcentaje de harina de amaranto, mayor contenido de fibra cruda, así mismo con el contenido de cenizas, ya que es creciente el contenido en los tratamientos, T1 2.14 ± 0.29 , T2 2.73 ± 0.00 y T3 2.79 ± 0.29 . La cantidad de carbohidratos resalta el T3 con un contenido 66.23% menor a los de T1 85.96% y T2 86.33% en razón de que, el que aporta más carbohidratos es la harina de maíz azul, a menor cantidad de harina de maíz azul menor cantidad de carbohidratos.

6.4 Evaluación de polifenoles

6.4.1 Polifenoles condensados

La concentración de polifenoles condensados de cada muestra analizada, se presenta en la *figura 40*, la cual la harina de chapulín es la que tiene más contenido de polifenoles de las 3 harinas utilizadas, y de los tratamientos la que presenta mayor contenido es T2, pero no hay diferencias notables entre ellas.

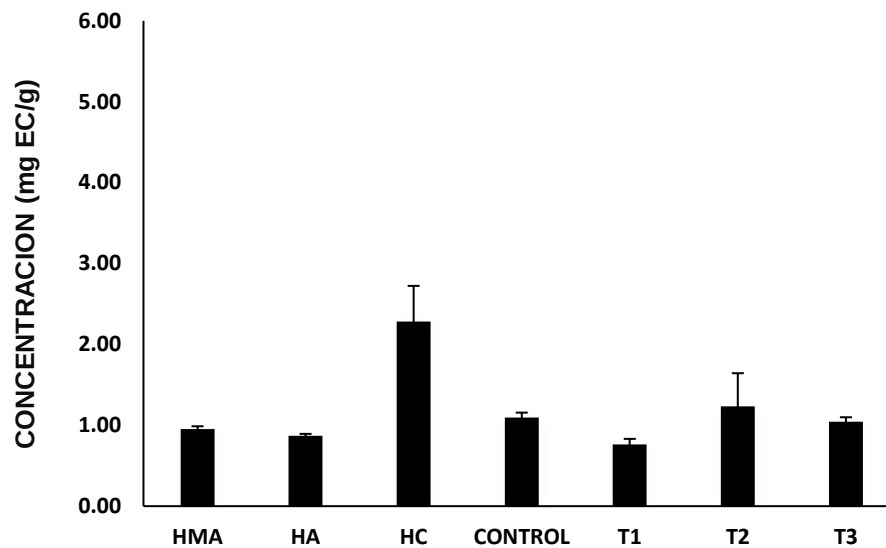


Figura 40. Contenido de polifenoles condensados

El T2 contiene 1.24 mg EC/g, T3 1.04 mg EC/g y el control con 1.09 mg EC/g, lo cual no hay una variación tan notable con el T1 con 0.76 mg EC/g.

La harina de maíz azul y harina de amaranto, no presentan mucha diferencia a comparación de la harina de chapulín con 2.28 mg EC/g, por lo tanto, esta harina es la que aporta la mayor cantidad de polifenoles en los tratamientos. Así mismo por la cantidad de taninos que posee esta harina, influye en el sabor del producto final, es por eso que la cantidad de harina en los tratamientos no puede ser mayor al 10%, ya puede dar tonos de astringencia o amargo al snack e impactar en la aceptación sensorial.

6.4.2 Polifenoles hidrolizables

Los resultados obtenidos de la evaluación de polifenoles hidrolizables se muestran en la *figura 41*, donde destaca la harina de chapulín con un contenido de 7 mg EAG/g, y los 3 tratamientos no se perciben una diferencia notable en cada uno.

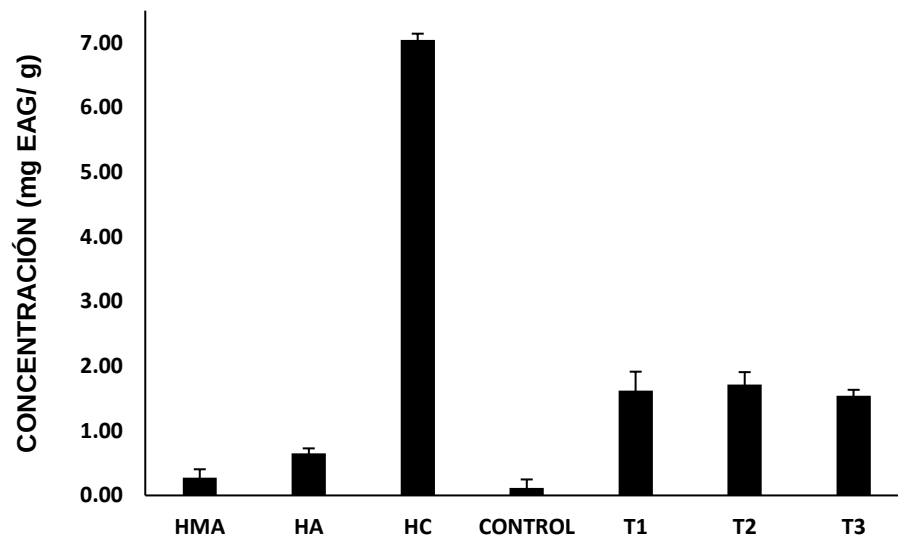


Figura 41. Contenido de polifenoles hidrolizables

La harina de maíz azul y la harina de amaranto tienen un contenido menor que 1, por lo tanto, el control también es menor su contenido, lo que quiere decir que la mezcla de las 3 harinas potencia su contenido de polifenoles hidrolizables.

De los tres tratamientos no hay una diferencia marcada en cada uno, ya que la harina que tiene mayor aporte es la harina de grillo, y la concentración en las formulaciones fue la misma para los tres tratamientos.

El consumo de estos taninos tiene un impacto en la salud, según un estudio los polifenoles hidrolizables tienen actividad anticancerígena y antidiabética.

6.5 Análisis antioxidantes

6.5.1 ABTS

En la *figura 42* se muestran los valores para las diferentes muestras evaluadas. Los valores obtenidos indican que la harina de chapulín tiene una mayor capacidad de antioxidante, y de los 3 tratamientos tienen capacidad antioxidante similar.

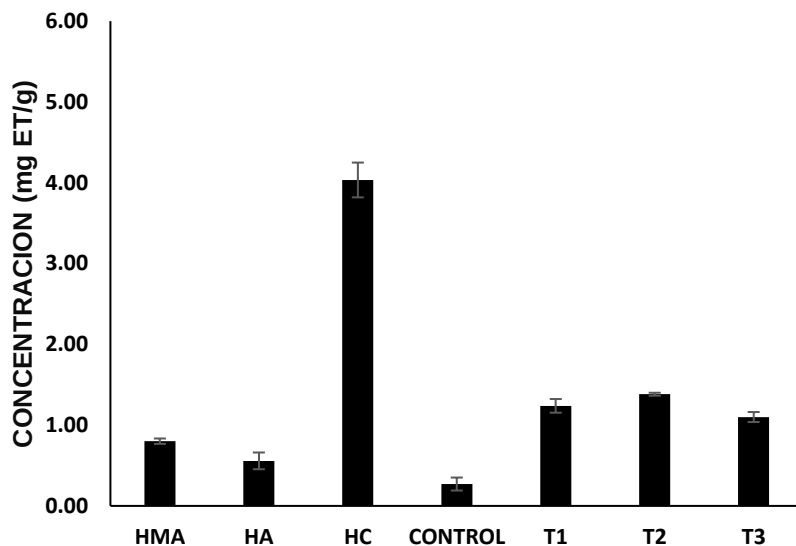


Figura 42. Contenido de antioxidantes por ABTS

La harina de chapulín posee una mayor cantidad de capacidad antioxidante con un contenido de 4.03 mg ET/mg, el cual es el brinda la concentración en los tratamientos, T1 1.24 mg ET/mg, T2 1.38 mg ET/mg y T3 1.10 mg ET/mg por lo tanto no existe una variación entre ellas. Por otro lado, el ABTS es soluble en solventes acuosos y orgánicos, lo cual lo hace un método apto para determinar la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica de extractos y fluidos biológicos (Schlesier et al., 2002; Prior y col., 2005), por ello se le ha llamado en ocasiones capacidad antioxidante total. No obstante, algunos compuestos los antioxidantes pueden causar interferencias si poseen un espectro de absorción similar al del DPPH como es el caso de los carotenoides (Prior y col., 2005).

6.5.2 DPPH

En la *figura 43* se presentan los resultados del contenido de antioxidantes por el método DPPH, lo cual muestra que harina de chapulín y T2 tiene mayor actividad antioxidante.

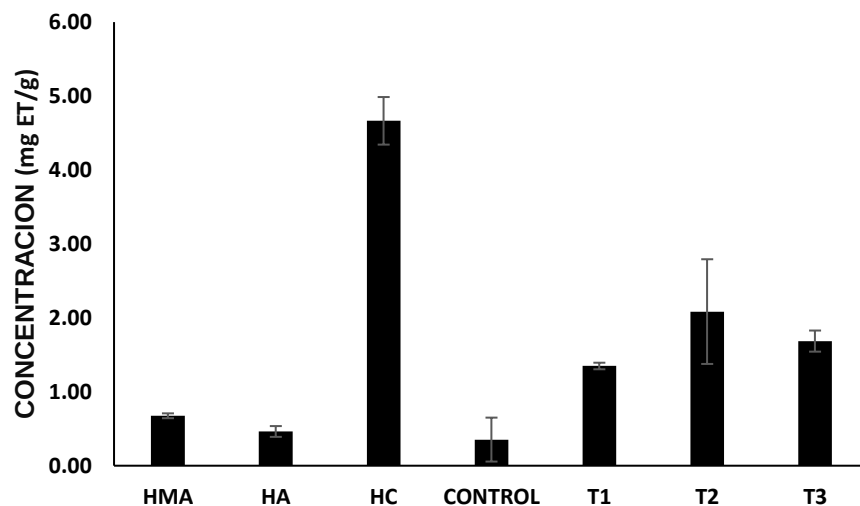


Figura 43. Contenido de antioxidantes por DPPH

La capacidad antioxidante de la HMA es de 0.68 mgET/g en comparación al control este disminuye aproximadamente la mitad con 0.35 mgET/g, esto se puede deber a que la capacidad antioxidante de ciertos compuestos puede disminuir con el calor debido a cambios químicos y estructurales que ocurren durante el proceso térmico.

El T1 presenta menor actividad antioxidante con un contenido de 1.35 mg ET/g, y el T3 con un valor de 1.69 mgET/g a lo que se puede adjudicar que uno contiene más HMA y puede variar la capacidad antioxidante por el calor, y el otro contiene más HA la cual de las tres harinas es la que presenta menor capacidad antioxidante.

El T2 obtuvo el valor más alto de capacidad antioxidante con un contenido de 2.08 mgET/g, lo que lo hace ser el tratamiento ideal, ya que las cantidades de mezclas potencian su contenido.

6.6 Evaluación sensorial

6.6.1 Aceptabilidad general

La prueba de aceptabilidad se llevó a cabo con una muestra de 40 participantes, de los cuales la mayoría pertenecieron al sexo femenino (62.5%).

Los puntajes otorgados por los jueces consumidores no entrenados con respecto al nivel de agrado de los 4 snack evaluados, se evaluó con la categoría de 4 ("Me

gusta mucho”) 3 (“Me gusta”), 2 (“No me gusta”) y 1 “No me gusta nada”), el que tuvo mayor puntaje de 4 “Me gusta mucho” con una preferencia de 35% fue la prueba control *Figura 44 a)*, que estaba elaborado con 100% de harina de maíz azul, su aceptación se puede deber a muchos factores, tanto culturales, sociales o psicológicos, ya que la harina de maíz está integrado en las costumbres gastronómicas, especialmente en México, además que los snacks de esta harina han sido más comercializados y consumidos desde tiempos atrás, lo que hace que el sabor sea más familiarizado siendo la clave de aceptación, a comparación de otros snacks con harinas no convencionales como la harina de chapulín aunque tienen historia de consumo en regiones específicas, no tiene el mismo simbolismo cultural, ya que dan unas sabores diferentes a los acostumbrados, lo que requiere esfuerzos en normalización cultural y educación para lograr una aceptación más amplia a los tres tratamientos evaluados, que sin tomar en cuenta el control, el T1 fue el mayor con 45% de aceptación *Figura 44 b)* y una formulación de 80% harina de maíz, 10% de harina de amaranto y 10% harina de chapulín, se infiere que su mayor aceptación se debe al porcentaje y sabor más allegado al control, con 25% de aceptación fue el T2 y 18% de preferencia el T3, se concluye que la aceptación fue menor debido que la formulación de estos tratamientos es de porcentaje de harina de maíz azul menor, el porcentaje de harina de amaranto fue mayor, dando una consistencia más suave al snack y perdiendo la textura de dureza característica común que se tiene de los snacks “churritos”.

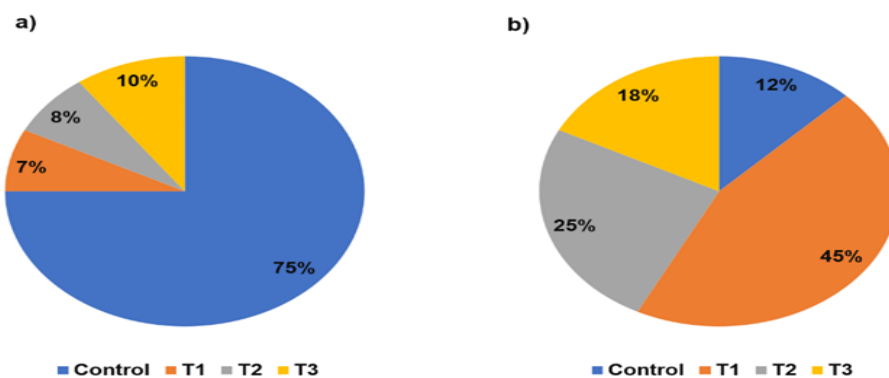


Figura 42. Nivel de agrado de la evaluación de las muestras. a) Muestra de la categoría 4 “Me gusta mucho”. b) Muestra de la categoría 3 “Me gusta”

6.6.2 Evaluación de atributos

En la *figura 45*, el grafico de radial nos muestra que el control fue el más alto en la escala hedónica, evaluando sus atributos de color, olor, sabor, textura y grado de aceptación; dejando a un lado el control, en los tratamientos no hubo una diferencia notable, el de mayor grado de aceptación y de textura fue el T1, en atributos de color, olor, sabor los T1 y T2 tuvieron el mismo porcentaje, T3 fue el de menor en la escala hedónica remarcando una diferencia menor en el sabor y olor.

Sensorialmente no hubo una diferencia notable en los tratamientos evaluados, pero nutricionalmente si mostro diferencias.

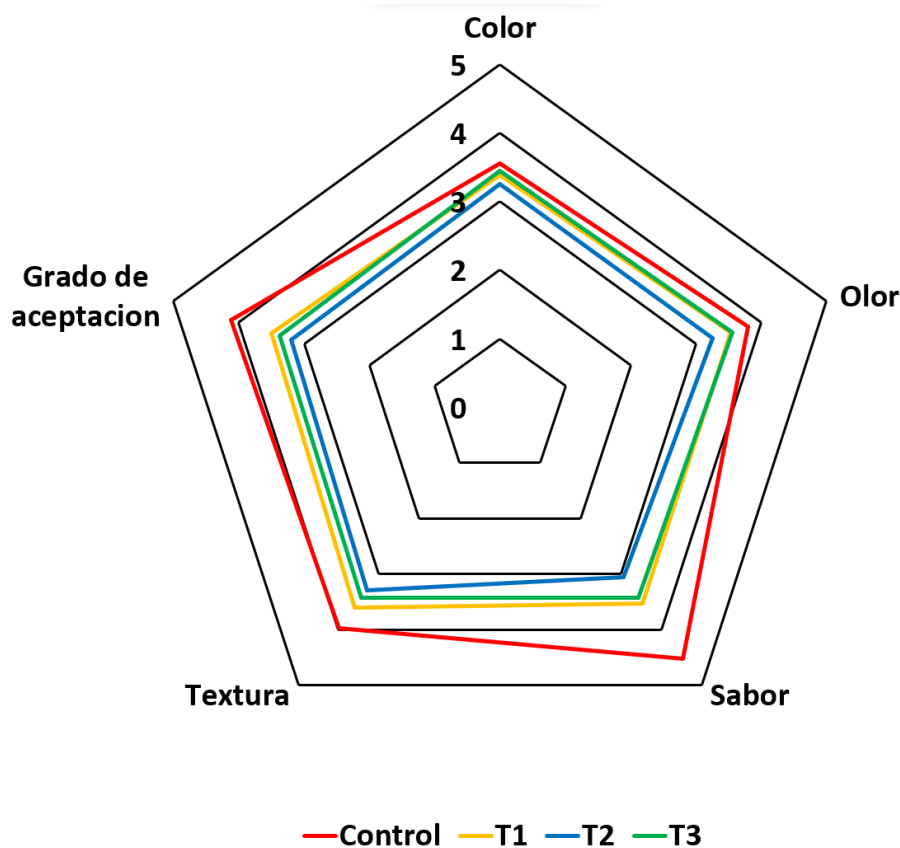


Figura 45. Medias de los puntajes otorgados por los participantes para los atributos evaluados del snack por jueces no entrenados.

6.6.3 Estudio de mercado

Se recabo la información tras realizar la encuesta con las siguientes preguntas, de un panel de 40 jueces:

1. ¿Qué tan dispuesto estas a consumir snacks elaborados con fuentes alternativas de proteína como insectos?

Mas de la mitad del panel está “Muy dispuesto” a consumir snack elaborados de alternativas, esto corrobora que la, la aceptación de consumo de insectos debe ser en preparado o procesado de modo que la forma natural del insecto no se pueda ver.

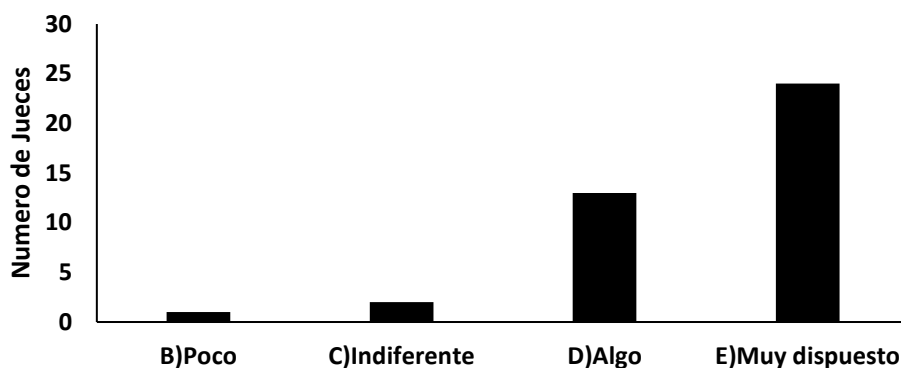


Figura 46. Cantidad de panel dispuestas a consumir snack elaborados con harinas no convencionales.

2. ¿Con qué frecuencia consumirías este snack si estuviera disponible en el mercado?

La mitad de los panelistas mencionaron que ocasionalmente consumirían este snack, menos de la mitad frecuentemente lo harían, y un porcentaje mínimo rara vez o muy frecuente lo harían, debido a la aceptación y la prueba sensorial obtenida, ya que es una harina no convencional por lo tanto los sabores no están familiarizados con la lengua.

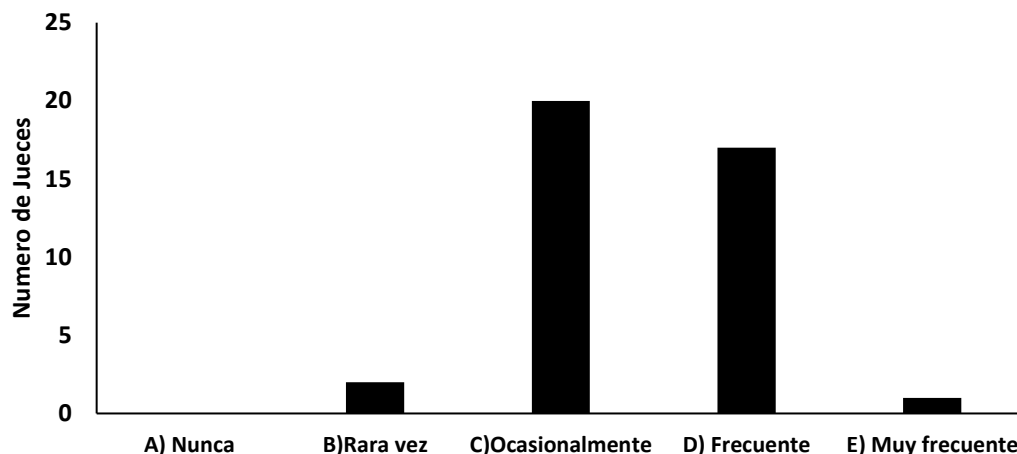


Figura 47. Afinidad de panel que consumiría este snack si estuviera en el mercado

3. ¿En qué situaciones consumirías este snack?

Esta pregunta se dio la opción de seleccionar más de una respuesta, y la mayoría de panel menciona que el consumo de este snack se comería en el trabajo o escuela o como botana en casa, que es cómo mayormente se consume este tipo de snack, un porcentaje menor para después de hacer ejercicio y como complemento de una comida, gracias a que se sabe que los insectos son ricos en proteínas, de las 4 maneras son opción debido al aporte beneficioso a la salud.

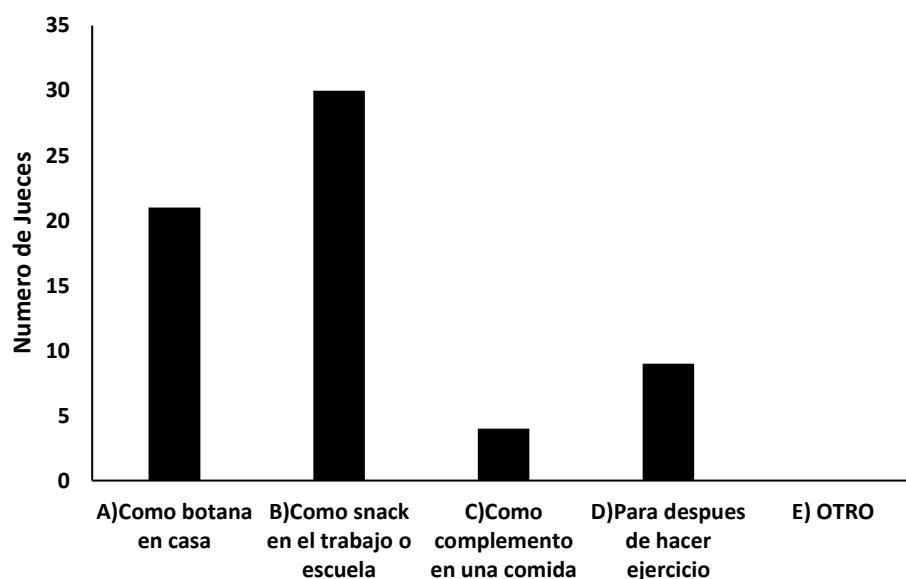


Figura 48. Preferencia de en qué situaciones consumirías el snack.

4. ¿Te parece un snack adecuado para sustituir otras frituras convencionales?

Mas del 80% de los panelistas evaluadores mencionaron que “si” se les hace adecuado para sustituir a frituras convencionales, y solo el 10% menciona que tal vez tomando en cuenta si el producto es más saludable, influye el precio y el porcentaje de agrado personal.

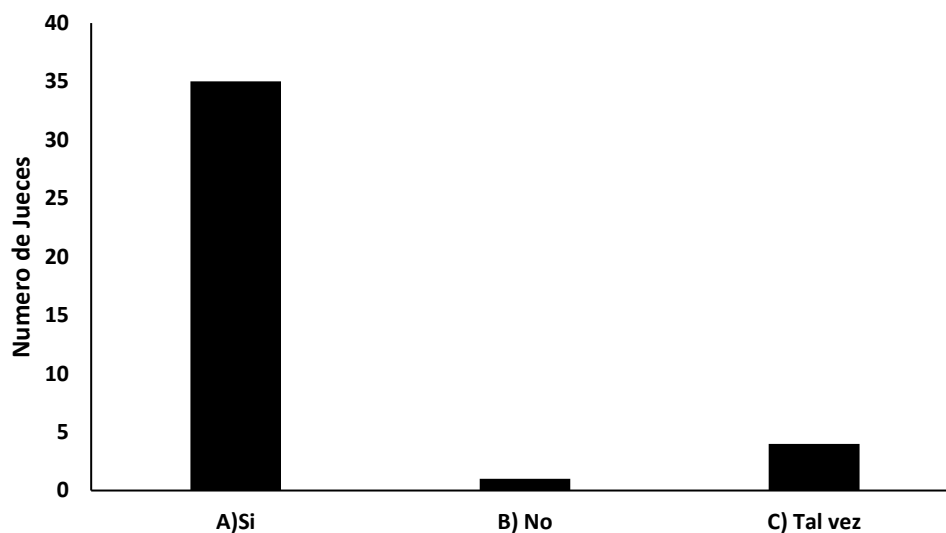


Figura 49. Cantidad de evaluadores que les parece que es un snack adecuado para sustituir otras frituras convencionales.

5. Si este snack estuviera disponible en el mercado, ¿qué probabilidad hay de que lo compres?

La probabilidad de comprar este snack fue alta, con una preferencia de 30 panelistas, y 5 no estar seguro o probablemente no lo comprarían, debido a los gustos de cada evaluador.

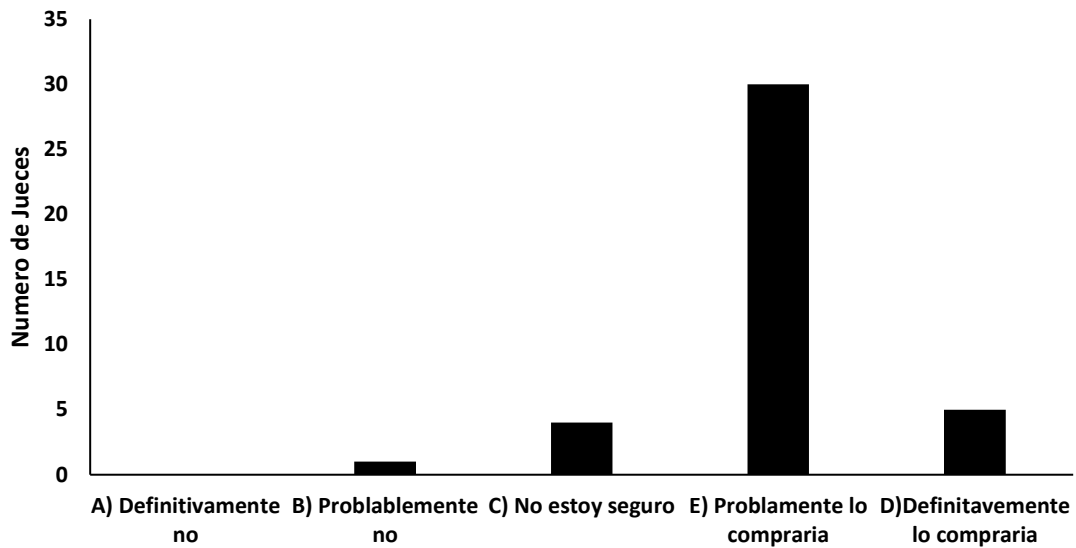


Figura 50. Probabilidad de adquirir este producto, a base de las preferencias de los evaluadores.

6. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por una porción de 50 g?

La disponibilidad de la mayoría de los evaluadores, de pagar un snack oscila entre los rangos de 20-25 pesos, que al hacer comparación calidad-precio con snack convencionales, 50g por 25 pesos es más rentable que consumir frituras que no aporten beneficios a la salud.

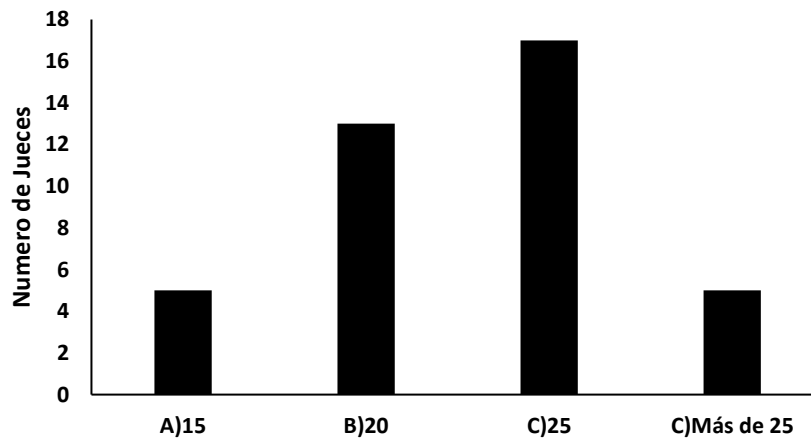


Figura 51. Rangos promedios dispuestos a pagar los evaluadores en un gramaje de 50 g.

7.CONCLUSION

Se logró desarrollar un snack innovador y nutritivo, manteniendo las características de la matriz saludable y ofreciendo propiedades funcionales, a través de la incorporación de diferentes concentraciones de harina *de Zea mays*, *Sphenarium purpurascens* y *Amaranthus*, maximizando el contenido de proteína, fibra, antioxidantes y otros compuestos fenólicos. Se determinaron las condiciones óptimas de extrusión para garantizar una textura, color, sabor y calidad nutricional. Por ultimo los análisis fisicoquímicos, sensoriales y nutricionales de los snacks confirmo su factibilidad como un alimento altamente proteico y funcional en el mercado.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Aragón-García, A., Rodríguez-Lima, D. R., Pino-Moreno, J. M., Aragón-Sánchez, M., Carlos-Ángeles, S., & García-Pérez, A. (2018). Valor nutritivo de la harina del chapulín *Sphenarium Purpurascens* Charpentier, 1845 (orthoptera: pyrgomorphidae) tostado y natural. *Entomología mexicana*, 5, 106-112.
2. Das, D., Sheikh, M. A., & Mir, N. A. (2024). Exploring the potential of amaranth proteins: Composition, functional characteristics, modifications, bioactive peptides and possible applications in food and packaging industries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107146.
3. Duffey, K. J., Rivera, J. A., & Popkin, B. M. (2014). Snacking is prevalent in México. *The Journal of nutrition*, 144(11), 1843-1849.
4. Esparza, L. M. A., Gómez-Rodríguez, V. M., Vega, H. R., Estrada, S. H., Hernández-Villaseñor, L. A., & de la Mora, B. Z. V. (2024). Propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de tres accesiones de maíz azul nativo de México. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), 23-39.
5. Hassan, S. M., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Bikila, A. M. (2024). Physicochemical, nutritional, and sensory properties of tortillas prepared from nixtamalized quality protein maize enriched with soybean. *Applied Food Research*, 4(1), 100383.
6. Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., & Bhat, T. A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food chemistry: X*, 18, 100687.
7. Mapes Sánchez Cristina, Basurto Peña Francisco, Bautista (2012). Manejo y Cultivo de *Amaranthus* spp. como Quelite en la Sierra Norte de Puebla, México. *Universidad Nacional Autónoma de México*
8. Navarro-Cortez, R. O., Hernández-Santos, B., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., ... & Rodríguez-Miranda, J. (2016). Development of extruded ready-to-eat

- snacks using pumpkin seed (*Cucurbita pepo*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 409-422.
9. Ramos, P. I. K., Tuaño, A. P. P., & Juanico, C. B. (2022). Microbial quality, safety, sensory acceptability, and proximate composition of a fermented nixtamalized maize (*Zea mays* L.) beverage. *Journal of Cereal Science*, 107, 103521.
 10. Rivas-Vela, C. I., Castaño-Tostado, E., Cardador-Martínez, A., Amaya-Llano, S. L., & Castillo-Herrera, G. A. (2023). Subcritical water hydrolysis for the obtention of bioactive peptides from a grasshopper *Sphenarium purpurascens* protein concentrate. *The Journal of Supercritical Fluids*, 197, 105893.
 11. Rodríguez-Miranda, J., Alcántar-Vázquez, J. P., Zúñiga-Marroquín, T., & 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*, 245(12), 2613-2620.
 12. Sánchez, E. C. M. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*, 8-9.
 13. Serna-Saldivar, S. O. (2023). Maize. In *ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology* (pp. 131-143). Academic Press.
 14. Téllez-Morales, J. A., Hernández-Santos, B., Navarro-Cortez, R. O., & Rodríguez-Miranda, J. (2022). Impact of the addition of cricket flour (*Sphenarium purpurascens*) on the physicochemical properties, optimization and extrusion conditions of extruded nixtamalized corn flour. *Applied Food Research*, 2(2), 100149.
 15. Vargas Sánchez, G. (2017). El mercado de harina de maíz en México. Una interpretación microeconómica. *Economía Informa*, (405), 4-29.
 16. Villanueva Acatitlán Jasmin (2022). Chapulines comestibles: Tradición y sobreexplotación en Oaxaca. *Saber Más. Revista de divulgación científica y tecnológica*.

17. Villaseñor, V. M., Enriquez-Vara, J. N., Urías-Silva, J. E., del Carmen Lugo-Cervantes, E., Luna-Vital, D. A., & Mojica, L. (2022). Mexican grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) as source of high protein flour: Techno-functional characterization, and in silico and in vitro biological potential. *Food Research International*, 162, 112048.
18. Yi, C., Qiang, N., Zhu, H., Xiao, Q., & Li, Z. (2022). Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. *Food Research International*, 160, 111681.
19. <https://comosefabrica.com/harina-de-maiz> Proceso para la elaboración de harina de Maíz. (n.d.). comosefabrica.com.
20. <https://lukeclarke.com.au/what-are-functional-foods-examples>, King, J. (2021, July 28). What are functional foods examples? - Luke Clarke. Luke Clarke.