

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**“Evaluación y Formulación de un Producto Horneado tipo Galleta
a base de Harinas Funcionales Grillo (*Acheta domesticus*),
Amaranto (*Amaranthus spp*) y Bagazo de Maguey (*Agave
salmiana*) Para el Desarrollo de un Alimento con Propiedades
Digestivas”**

Por:

Virginia Araceli Infante Rodríguez

TESIS

**Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título
de:**

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Evaluación y Formulación de un Producto Horneado tipo Galleta a base de Harinas Funcionales Grillo (*Acheta domesticus*), Amarantho (*Amaranthus spp*) y Bagazo de Maguey (*Agave salmiana*) Para el Desarrollo de un Alimento con Propiedades Digestivas

Por:

VIRGINIA ARACELI INFANTE RODRIGUEZ

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

Fue dirigida y aprobada por el siguiente comité Asesor:




Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Director



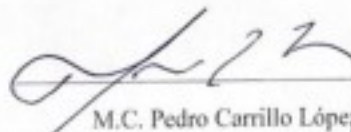
Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón
Asesor



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Asesor



M.C. Alejandra Estefanía Rendón Benjumea
Asesor



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

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2025



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Evaluación y Formulación de un Producto Horneado tipo Galleta a base de Harinas Funcionales Grillo (*Acheta domesticus*), Amaranto (*Amaranthus spp*) y Bagazo de Maguey (*Agave salmiana*) Para el Desarrollo de un Alimento con Propiedades Digestivas

Por:

VIRGINIA ARACELI INFANTE RODRIGUEZ

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. Sonia Noemí Ramírez Barrón
Vocal



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Vocal



M.C. Alejandra Estefanía Rendón Benjumea
Vocal

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2025

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Declaro de no plagio El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que no se incurrió en plagio o conducta incorrecta en los siguientes aspectos:

Reducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (copiado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados datos a la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliografias o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas p datos sin citar al autor original y/o fuente.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consiente de que, en caso de comprobarse plagio en el texto, no respetar los derechos de autor, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias generadas en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

ATENTAMENTE



Virginia Araceli Infante Rodriguez

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios que me dio la fuerza, la sabiduría e inteligencia necesaria pero sobre todo la vida y salud para llegar hasta este momento de mi vida, por nunca soltarme de su mano, por estar conmigo cuando sentía que no podía más, Gracias por todo Mi Dios.

A mis familia, mis hermanos que de igual manera estuvieron a lo largo de este trayecto motivándome a continuar y nunca decaer, pero especialmente a mis padres quienes han sido mi pilar incondicional. Gracias por su amor, su apoyo incondicional y su comprensión, por estar cada día recordarme constantemente la importancia de la perseverancia.

A cada una de mis amigas de la carrera, por sus consejos y por cada uno de los momentos compartidos por que nunca me dejaron siempre estuvieron para mí cuando más lo necesite gracias por eso.

Al Dr. Mario Alberto Cruz Hernández quien me dio la oportunidad de poder trabajar en este proyecto, gracias por sus conocimientos compartidos y sobre todo consejos que me motivaron a poder terminar en tiempo y forma.

Gracias también a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme las puertas para poder desarrollarme como profesionista adquiriendo los conocimientos simplemente gracias a mi ALMA TERRA MATER.

La culminación de esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo, la guía y la inspiración de numerosas personas ya mencionadas anteriormente, que extendiendo mi más sincero agradecimiento.

Dedicatoria

Esta tesis va dedicada a mis Padres Gustavo Infante Sandoval y María Ventura Rodríguez Ortiz porque sin ellos y sin su apoyo yo no estaría donde estoy ahorita, gracias porque son mi motor de vida, porque me alentaron a seguir adelante a nunca rendirme cuando lo quería hacer, porque se esforzaron y sacrificaron para darme todo lo necesario.

Los amos con todo mi corazón son lo mejor que tengo a mi lado, espero y deseo que se sientan complacidos por este logro que acabo de culminar y se sientan también dichosos de tener una Hija Ingeniera.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| <i>Abstract</i> | 9 |
| <i>Resumen</i> | 10 |
| 1. <i>Introducción</i> | 11 |
| 2. <i>Objetivos</i> | 13 |
| 2.1. <i>Objetivo General</i> | 13 |
| 2.2. <i>Objetivos específicos</i> | 13 |
| 3. <i>Justificación</i> | 14 |
| 4. <i>Antecedentes</i> | 15 |
| 4.1. <i>Origen de los alimentos funcionales</i> | 15 |
| 4.2. <i>Definición de alimentos funcionales</i> | 16 |
| 4.3. <i>Harina de grillo</i> | 16 |
| 4.3.1. <i>Contenido nutricional de la harina de grillo</i> | 17 |
| 4.4. <i>Amaranto</i> | 18 |
| 4.4.1. <i>Composición nutrimental</i> | 19 |
| 4.5. <i>Agave Salmiana</i> | 20 |
| 4.5.1. <i>Compuestos bioactivos del maguey</i> | 20 |
| 4.5.2. <i>Jarabe de Agave</i> | 21 |
| 4.6. <i>Enfermedad celiaca a causa del gluten</i> | 22 |
| 4.7. <i>Alimentos nutraceuticos</i> | 23 |
| 4.7.1. <i>Fibra</i> | 24 |
| 4.8. <i>Harinas compuestas</i> | 25 |
| 5. <i>Metodología</i> | 25 |
| <i>Obtención de las harinas de grillo, amaranto, maguey y trigo</i> | 25 |
| <i>Elaboración de las galletas</i> | 26 |
| 5.1. <i>Análisis Bromatológico</i> | 27 |
| 5.1.1. <i>Materia seca total y humedad</i> | 27 |
| 5.1.2. <i>Determinación de proteína</i> | 28 |
| 5.1.3. <i>Determinación de cenizas</i> | 29 |
| 5.1.4. <i>Determinación de fibra</i> | 30 |
| 5.1.5. <i>Determinación de lípidos por el método de Soxhlet</i> | 31 |
| 5.2. <i>Azúcares totales</i> | 32 |
| 5.3. <i>Determinación de antioxidantes</i> | 33 |
| 5.4. <i>Evaluación sensorial</i> | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6. | <i>Resultados y discusión</i> | 36 |
| 6.1. | Análisis bromatológico | 36 |
| 6.1.1. | Determinación de humedad | 36 |
| 6.1.2. | Proteína | 37 |
| 6.1.3. | Cenizas | 38 |
| 6.1.4. | Fibra | 38 |
| 6.1.5. | Grasa | 39 |
| 6.2. | Azúcares totales | 40 |
| 6.3. | Antioxidantes | 41 |
| 6.4. | Evaluación sensorial | 42 |
| 7. | <i>Conclusiones</i> | 44 |
| 8. | <i>Referencias bibliográficas</i> | 45 |

Abstract.

In this project, cookies were developed using functional flours derived from cricket, amaranth, and agave bagasse, which exhibited desirable nutritional properties, including high protein and fiber content as well as low fat levels. The raw materials were commercially sourced; the cricket flour was obtained from Insect Nutrition. To produce the maguey flour from agave bagasse, the bagasse was first washed to remove impurities, then dried to a constant weight, and finally milled into a fine powder. In the case of amaranth, the grains were similarly milled to obtain the flour. Once the flours were prepared, various formulations were mixed with the remaining ingredients and subsequently baked to obtain the cookies. A bromatological analysis was performed after baking, revealing that formulation 3 exhibited the highest nutritional contribution. Finally, a sensory evaluation of the five formulations was conducted with 40 untrained panelists to assess acceptance based on flavor, color, aroma, texture, and aftertaste, and to identify the most preferred formulation.

Resumen

En este proyecto se desarrollaron galletas elaboradas con harinas funcionales a base de grillo, amaranto y bagazo de maguey, las cuales presentaron propiedades nutrimentales de interés, destacando su alto contenido de proteína y fibra, así como un bajo aporte de grasa. Las materias primas utilizadas fueron adquiridas de manera comercial; la harina de grillo se obtuvo de Insect Nutrition. Para la obtención de la harina de maguey a partir del bagazo de agave, primero se lavó el bagazo para eliminar impurezas, luego se secó hasta alcanzar peso constante y, finalmente, se molió hasta obtener un polvo fino. En el caso del amaranto, se aplicó igualmente un proceso de molienda para producir su harina. Una vez obtenidas las harinas, se prepararon diversas formulaciones junto con los demás ingredientes y posteriormente se hornearon las mezclas para producir las galletas. Tras su elaboración, se realizó un análisis bromatológico, mediante el cual se determinó que la formulación 3 presentó la mayor aportación nutrimental. Como último paso, se llevó a cabo un análisis sensorial de las cinco formulaciones con la participación de 40 panelistas no entrenados, con el objetivo de evaluar su aceptación en cuanto a sabor, color, aroma, textura y retrogusto, e identificar la formulación preferida.

1. Introducción

Hoy en día las personas necesitan más alimentos para una buena y mejor digestión ya que de esta manera el cuerpo descompone los alimentos para tener los nutrientes esenciales y la energía necesaria para un funcionamiento seguro y mantenerse sanos. Es recomendable consumir alimentos ricos en fibra ya que nos aporta grandes beneficios para la salud, previene el estreñimiento, mejoran los niveles de azúcar en la sangre, previenen diabetes, ayudan a controlar el peso al aumentar la saciedad y también previene algunos tipos de cáncer (Dai et al., 2025).

El consumo de alimentos ricos en proteína desempeña un papel fundamental en la salud digestiva, ya que las proteínas cumplen funciones clave dentro del tracto intestinal. Entre estas funciones destaca la síntesis de enzimas responsables de descomponer los alimentos. Un consumo adecuado de proteínas garantiza que el organismo cuente con los elementos necesarios para producir enzimas digestivas y jugos gástricos, como el ácido clorhídrico, en cantidades suficientes para digerir adecuadamente carbohidratos, grasas y otras proteínas. De esta manera, las proteínas no solo contribuyen a la protección del cuerpo frente a sustancias potencialmente dañinas, sino que también favorecen la absorción eficiente de nutrientes. En esencia, hacen posible el proceso digestivo al proporcionar los componentes indispensables para la fabricación de enzimas y para el correcto mantenimiento del revestimiento de todo el aparato digestivo (Dufoo-Hurtado et al., 2025).

La harina de maguey es un alimento funcional y libre de gluten obtenido a partir de los residuos del agave, en específico del bagazo. Se caracteriza por su alto contenido de fibra, lo que contribuye a mejorar la digestión y favorecer la asimilación del calcio, además de ser una alternativa adecuada para personas con diabetes u obesidad. El amaranto (*Amaranthus*), considerado un “superalimento” por su elevado valor nutricional, ofrece diversos beneficios para la salud: fortalece los huesos, mejora el funcionamiento del sistema digestivo y cardiovascular, y gracias a su alto contenido de hierro, ayuda a prevenir la anemia. Por su parte, la harina de grillo (*Acheta domesticus*) es otro ingrediente de gran valor nutricional. Es rica en

proteínas, hierro, calcio y fibra, además de aportar compuestos con efecto probiótico que favorecen la salud intestinal (Velizquez-De Lucio et al., 2022).

Por lo que en el presente proyecto se pretende: Desarrollar un producto horneado tipo galleta con harina de Maguey (*Agave*), Amaranto (*Amaranthus*) y Grillo (*Acheta dimesticus*) que aproveche las propiedades nutricionales y los beneficios para la salud, sobre todo para un buen funcionamiento digestivo y ser una fuente de probióticos, alto en proteínas y más sostenible que las galletas convencionales que conocen y consumen.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar el uso de las harinas de grillo, amaranto y bagazo de maguey para desarrollar una galleta que presente beneficios a la salud intestinal mediante la aportación de fibra, proteína y minerales, realizando las formulaciones que sean aceptables para los consumidores.

2.2. Objetivos específicos

- Obtener y evaluar las harinas de grillo, amaranto y bagazo de maguey como materias primas para las galletas.
- Determinar la formulación de las galletas mediante la determinación de las formulaciones variando la mezcla de harinas.
- Analizar el contenido nutricional de las formulaciones obtenidas con la mezcla de las harinas.
- Analizar las preferencias del público mediante una evaluación sensorial de las formulaciones.

3. Justificación

El desarrollo de alimentos funcionales elaborados a partir de materias primas sostenibles y de alto valor biológico representa una estrategia clave para contrarrestar las deficiencias nutricionales actuales y promover la salud digestiva. En la dieta moderna predominan productos con escaso valor nutrimental que, pese a su alto aporte calórico, suelen ser pobres en vitaminas, minerales, proteínas y fibra. Este patrón alimentario ha contribuido al incremento de enfermedades crónicas no transmisibles como obesidad, diabetes e hipertensión, así como a alteraciones en el microbiota intestinal derivada de la baja ingesta de fibra dietética y compuestos con actividad pro biótica.

El principal diferenciador de este producto es la incorporación de harina de maguey, un ingrediente rico en compuestos prebióticos, particularmente inulina, la cual actúa como sustrato fermentable que favorece el crecimiento de microorganismos benéficos en el intestino. A ello se suma la combinación de harina de amaranto y harina de grillo, que en conjunto aportan un perfil nutricional superior al de las galletas convencionales disponibles en el mercado. Ambas fuentes destacan por su contenido de proteínas de alta calidad, con todos los aminoácidos esenciales, así como por su aporte significativo de lípidos saludables, incluidos ácidos grasos omega. El desarrollo de una galleta horneada formulada como alimento funcional ha sido diseñado estratégicamente para ofrecer un elevado contenido proteico y prebiótico, contribuyendo tanto a la mejora de la salud digestiva como a la reducción de la malnutrición proteica. Además, integra ingredientes sostenibles y de alta eficiencia nutricional, alineándose con las tendencias actuales de alimentación saludable, innovación y aprovechamiento responsable de recursos agroindustriales.

4. Antecedentes

4.1. Origen de los alimentos funcionales

La modificación de los hábitos alimentarios en las últimas décadas ha contribuido significativamente al deterioro del estado de salud de la población. La falta de educación nutricional y la adopción de patrones dietéticos poco saludables han favorecido la aparición tanto de desnutrición como de malnutrición por exceso. A esto se suma la inseguridad alimentaria, que, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024), se presenta cuando una persona no dispone de alimentos inocuos y nutritivos o carece de los recursos económicos necesarios para obtenerlos.

Estas condiciones, combinadas con niveles bajos de actividad física, han propiciado el incremento mundial de enfermedades no transmisibles, como hipertensión arterial, diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares (Ahmed et al., 2022; Villagrán et al., 2022). El desarrollo de patologías asociadas a la alimentación ha despertado un interés científico creciente, motivado en parte por el aumento en los costos de atención sanitaria, la mayor esperanza de vida y los efectos de la globalización.

Como resultado, existe en la población una preocupación cada vez mayor por mejorar su estado de salud y calidad de vida, así como la necesidad de reducir las tasas de mortalidad, especialmente en comunidades con recursos limitados (Gómez-Gómez et al., 2024). En este contexto, el consumo de alimentos ha dejado de perseguir únicamente la satisfacción de las necesidades nutricionales básicas para orientarse también hacia la obtención de beneficios adicionales para la salud, lo que ha incrementado el interés por las propiedades funcionales de los alimentos (Tønnesen et al., 2022).



Figura 1. Alimentos funcionales

4.2. Definición de alimentos funcionales

El Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón define como FOSHU a aquellos alimentos que nos proporcionan algún ingrediente funcional para la salud y que han sido aprobados oficialmente para ello. Estos alimentos se consumen más que nada para conservar, promocionar o atender usos especiales en la salud. Para que los alimentos obtengan la categoría de funcional debe antes haberse demostrado su eficacia, seguridad y no deben de ser tóxicos. En el etiquetado o empaque del producto, deben describirse claramente los estándares de calidad bajo los cuales se ha determinado su funcionalidad, es decir, qué ingredientes, cuáles procesos o métodos de análisis han sido utilizados. Adicionalmente, se reconocen otros dos tipos de FOSHU: los calificados, que carecen de evidencia científica o cuyo mecanismo de acción no ha sido establecido, pero que cuenta con las propiedades FOSHU; y los estandarizados, que tienen amplia evidencia científica y cumplen con estándar y especificaciones (Ministry of Health, Labour and Welfare, 2024).

4.3. Harina de grillo

En la actualidad, los hábitos alimentarios a nivel mundial están evolucionando como resultado de cambios sociales, económicos y ambientales. Un ejemplo destacado es el consumo de carne, cuyo impacto ambiental ha generado creciente preocupación. La producción ganadera convencional contribuye de manera significativa a la emisión de gases de efecto invernadero, lo que acelera el calentamiento global y ejerce presión sobre los recursos naturales. Este escenario ha impulsado la búsqueda de alternativas alimentarias sostenibles que ofrezcan un aporte adecuado de proteínas, aminoácidos esenciales y otros nutrientes comparables a los presentes en los productos cárnicos.

En este contexto, la entomofagia, el consumo de insectos, se perfila como una opción prometedora para el futuro. Diversas especies de insectos comestibles presentan un perfil nutricional notable, al ser fuentes de proteínas, lípidos, fibra, nitrógeno no proteico y minerales. El grillo, por ejemplo, contiene entre 27 % y 76 % de proteína, lo que lo convierte en uno de los insectos con mayor valor nutricional. Su transformación en harina facilita su incorporación en matrices alimentarias

diversas, permitiendo el desarrollo de productos con alto contenido proteico y, en algunos casos, con propiedades funcionales adicionales, como actividad antioxidante. El uso de harina de insecto ha ido en aumento en regiones como América, donde se reconoce su potencial como ingrediente sustentable, nutritivo e innovador dentro de la industria alimentaria (Uribe y Morales, 2022).



Figura 2. Harina de grillo

4.3.1. Contenido nutricional de la harina de grillo

La harina de grillo ha destacado en diversos estudios por su notable valor nutricional, particularmente por su elevado contenido de proteínas de origen entomológico. En términos composicionales, 100 g de harina de grillo pueden contener alrededor de 76 g de proteína, lo que la posiciona como una de las fuentes proteicas más concentradas entre las harinas alternativas. Además, aporta aproximadamente 11.4 g de hidratos de carbono libres de azúcares y una densidad energética superior a la de otras harinas convencionales. Este ingrediente también es una fuente significativa de minerales esenciales, como hierro, calcio, magnesio, manganeso, cobre, selenio, zinc y fósforo, los cuales desempeñan funciones clave en procesos metabólicos y en la salud ósea y muscular. Asimismo, la harina de grillo contiene vitaminas del complejo B, incluyendo riboflavina (B2), cobalamina (B12) y

ácido fólico, micronutrientes fundamentales para la producción de energía, la síntesis de ADN y el adecuado funcionamiento del sistema nervioso. (Quijano, 2021).

| Información Nutricional | | Perfil de aminoácidos | |
|------------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| Cantidad por porción (mg) | Por 100 g | Cantidad por porción (mg) | Por 100 g |
| Contenido energético (Kcal.) | 504 | Valina (Val) | 4,469 |
| Proteínas (g.) | 66 | Treonina (Thr) | 1,158 |
| Grasas totales (g.) | 10 | Isoleucina (Ile) | 30 |
| Grasas saturadas (g.) | 6 | Leucina (Leu) | 55,599 |
| Grasas trans. | 0 | Lisina (Lys) | 264 |
| Carbohidratos totales (g.) | 25 | Metionina (Met) | 1,453 |
| Azúcares (g.) | 0 | Histidina (His) | 30 |
| Azúcares añadidos (g.) | 0 | Fenilalanina (Phe) | 3,143 |
| Fibra dietética (g.) | 19 | Triptófano (Trp) | 135 |
| Sodio (mg.) | 286 | | |
| Omega-3 (g.) | 1,31 | | |
| Omega-6 (g.) | 6,79 | | |
| Información adicional | %VNR | | |
| Calcio (mg) | 34 | 100 | |
| Zinc (mg) | 277 | 28 | |
| Hierro (mg) | 37 | 6 | |
| Magnesio (mg) | 44 | 108 | |
| Fósforo (mg) | 46 | 657 | |
| Fluoruro | 93 | 506 | |

Figura 3. Contenido nutricional de la harina de grillo.

4.4. Amaranto

El amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae* y subfamilia *Amaranthoidea*. Existen entre 65 y 70 especies de amaranto, conocidas común y colectivamente como amaranto, y se clasifica como un grano falso. Tiene alrededor de 8000 años y originalmente se consideraba un alimento sagrado con usos ceremoniales debido a sus supuestas propiedades nutricionales y curativas antes de los tiempos modernos. Tanto las hojas como las semillas del amaranto son comestibles. El cultivo se cultivaba originalmente en la India (Dabija et al., 2022), pero ahora se cultiva en todo el mundo, principalmente en América, el sudeste asiático, Europa y África (Srivastava et al., 2021). El amaranto es una planta muy fuerte que resiste

bien al calor y florece sin problemas incluso cuando las temperaturas son altas. Es una hierba que vive solo un año y crece muy rápido llegando a medir hasta 150 cm (un metro y medio) sus tallos y hojas son fuertes, sus hojas son de color verde y tienen una textura rugosa, mientras que sus llamativas flores pueden ser de color morado, rojas o de un dorado brillante. Los peciololes suelen ser verdes o rojos, las hojas son rugosas y las raíces se rotan para absorber bien el agua durante la sequía y prolongar su supervivencia. El mayor productor mundial de amaranto es China (Aderibigbe et al., 2022). Existen numerosas especies de amaranto, entre las que destacan *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus suchondriacus* y *Amaranthus tricolor* (Haber et al., 2017).



Figura 4. Harina de amaranto

4.4.1. Composición nutricional

El amaranto es alto en nutrientes con bajo contenido de grasa y alto contenido en proteínas, junto con otros nutrientes como fibra, vitaminas y minerales (Singh et al., 2024). En las semillas del amaranto se encuentran principalmente las proteínas con mayor contenido de lisina y metionina. El contenido de proteína de las semillas de amaranto (alrededor del 14%) es más alto que el de otros granos con una distribución equilibrada y alta biodisponibilidad de aminoácidos. Además, el contenido de aminoácidos esenciales entra en la proporción que se asemeja mucho a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la dieta

humana. Su calidad es tan alta que se acerca a la de las proteínas de origen animal que tradicionalmente son consideradas el estándar de oro en cuanto a la calidad proteica (Rivero Meza et al., 2023).

4.5. *Agave Salmiana*

El *Agave salmiana* es una especie de gran importancia económica, cultural y ambiental, debido a la amplia variedad de recursos que ofrece y a la versatilidad de sus aplicaciones. Esta planta ha sido aprovechada tradicionalmente en múltiples sectores, desde la artesanía hasta la construcción, consolidándose como un recurso fundamental para diversas comunidades. Uno de sus productos más destacados es el ixtle, una fibra resistente que se obtiene de las pencas del maguey mediante procesos de desfibrado. El ixtle se utiliza en la elaboración artesanal de una amplia gama de artículos como bolsas, cepillos, mecates y estropajos, cuya manufactura conserva técnicas tradicionales y aporta un importante valor sociocultural. Además, se trata de un material biodegradable y sostenible, lo que refuerza su relevancia en prácticas productivas respetuosas con el medio ambiente (Cuevas, 2024).

4.5.1. Compuestos bioactivos del maguey

El maguey contiene una serie de bioactivos, incluyendo fibra soluble como los fructanos, fotoquímicos como las saponinas y compuestos fenólicos, conocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias o antimicrobianas. Los fructanos, también denominados agavina, es un polisacárido de reserva energética de la planta y se obtiene del tallo o piña de maguey. Los fructanos se destacan por su capacidad de promover la salud intestinal al actuar como prebióticos, estimulando el crecimiento de bacterias benéficas en el tracto digestivo (Castañeda Ovando et al., 2023). Los compuestos bioactivos del maguey, como las saponinas y los flavonoides, han demostrado tener efectos positivos en la reducción de enfermedades crónicas como la diabetes, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Leal-Díaz et al., 2015; Santos-Zea et al., 2012).

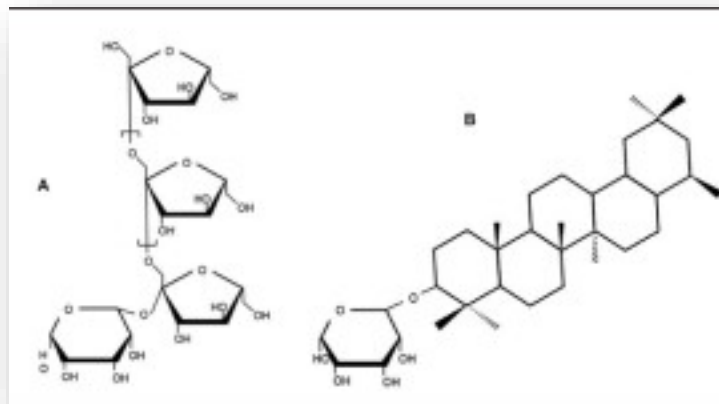


Figura 5. Compuestos bioactivos del maguey

4.5.2. Jarabe de Agave

En los últimos años, el jarabe de agave (AS), también denominado concentrado de savia o néctar de agave, ha adquirido gran relevancia debido a su composición y a sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria (González-Montemayor et al., 2019). El agave contiene diversos compuestos de interés nutracéutico, entre ellos sustancias naturales con actividad benéfica para la salud (Verma et al., 2021), así como compuestos bioactivos: poli fenoles, taninos y saponinas, que han demostrado propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Gutiérrez-Uribe et al., 2017). Además, es una fuente de micronutrientes esenciales como hierro (Fe), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg) y sodio (Na) (Hernández-Ramos et al., 2020). Dentro de sus componentes más característicos destacan los fructanos, carbohidratos complejos con enlaces $\beta(2\rightarrow1)$ y $\beta(2\rightarrow6)$, conocidos por su capacidad prebiótica. Estos compuestos pueden ejercer efectos benéficos sobre el microbiota intestinal humana, al promover selectivamente el crecimiento de microorganismos favorables. Sin embargo, en ciertos individuos, especialmente aquellos con sensibilidad gastrointestinal o alteraciones en la fermentación colónica, los fructanos pueden provocar efectos secundarios como distensión abdominal, gases o malestar intestinal. (DeChristopher & Tucker, 2020 ; Man et al., 2021).



Figura 6. Jarabe de Agave

4.6. Enfermedad celiaca a causa del gluten

Ciertas personas experimentan trastornos de salud como enfermedad celíaca, sensibilidad al gluten no celíaca (SGNC), alergia al trigo, síndrome del intestino irritable (Skendi et al., 2021), dermatitis herpetiforme y ataxia por gluten (Danciu y Negură, 2022), derivados del consumo de cereales que contienen gluten y sus derivados. La hipersensibilidad persistente al gluten, que conduce a afecciones como la enfermedad celíaca (EC) (Kõiv y Tenson, 2021), está relacionada con la fracción de pro lamina de los cereales. Estas fracciones son resistentes a las enzimas digestivas debido a su alto contenido en aminoácidos prolina y glutamina (Badiu, Aprodu y Banu, 2014; Olaimat et al., 2023) y contienen péptidos tóxicos. Entre estos péptidos, las gliadinas α y γ muestran la mayor toxicidad (Kõiv y Tenson, 2021).

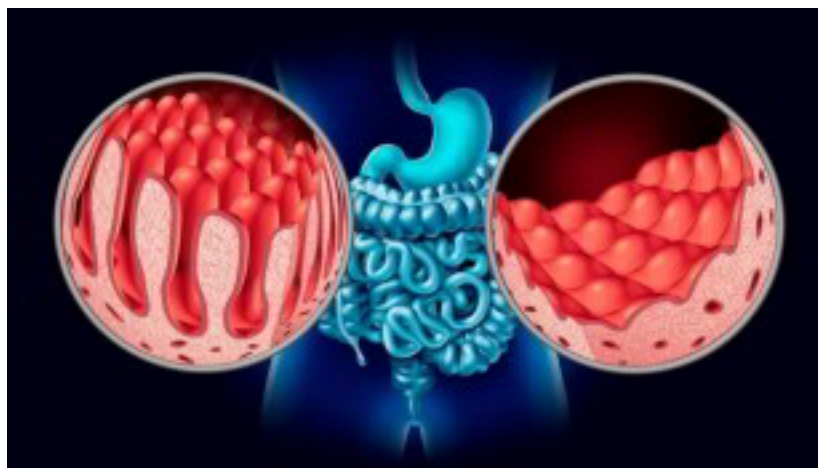


Figura 7. Enfermedad celiaca

4.7. Alimentos nutraceuticos

El análisis en la composición de los alimentos nutraceuticos revela una gama diversa de compuestos bioactivos que los distinguen de los alimentos tradicionales (Akhtar et al., 2023). Estos compuestos son desde vitaminas y minerales hasta fotoquímicos y ácidos grasos esenciales que dotan a estos consumibles funcionales de propiedades que se extienden más allá de la nutrición básica. Ya sea derivados de fuentes naturales o fortificados con elementos bioactivos adicionales, estos alimentos poseen una amalgama única de ingredientes que los distingue como potentes contribuyentes a la salud. Comprender los mecanismos de acción a través de los cuales los alimentos funcionales y los nutraceuticos ejercen su influencia es fundamental para apreciar su potencial transformador. Estos consumibles operan a nivel celular y molecular, modulando las funciones fisiológicas de maneras que trascienden la comprensión convencional de la nutrición (Cloninger et al., 2019). Los antioxidantes, que son abundantes en muchos alimentos funcionales ya que neutralizan las moléculas dañinas llamadas radicales libres, que reducen el estrés oxidativo que es el desgaste de las células y la inflamación en el cuerpo. Los ácidos grasos omega-3, presentes en ciertos nutraceuticos, presentan grandes beneficios cardiovasculares al regular los niveles de lípidos y disminuir el riesgo de enfermedades cardíacas (Singh et al., 2023). La fibra, un componente común de los alimentos funcionales, no solo favorece a la salud digestiva, si no también ayuda al control del peso al inducir una sensación de saciedad. A medida que avanza la investigación de alimentos funcionales y nutraceuticos, es de gran importancia analizar la sólida evidencia científica que respalda sus supuestos beneficios para la salud (Akhtar et al., 2023).



Figura 8. Alimentos nutraceuticos

4.7.1. Fibra

La fibra dietética está formada por muchos monosacáridos o azúcares simples en los cuales se incluyen: glucosa, galactosa, manosa, fructosa, arabinosa, xilosa, ramnosa y fucosa, unidos de diversas maneras para formar estructuras complejas. Aunque los tipos de azúcares (monosacáridos) son pocos, se combinan de muchas maneras distintas para construir estructuras muy complejas (Hamaker y Tuncil, 2014). Las fibras dietéticas incluyen polisacáridos no amiláceos, almidones resistentes, oligosacáridos no digeribles y carbohidratos sintéticos. Cada fibra dietética tiene una estructura primaria, secundaria o terciaria única que contribuye a sus efectos fisiológicos.



Figura 9. Alimentos con fibra

4.8. Harinas compuestas

La harina de trigo cuando se mezcla con otro tipo de harinas ya sea comunes o menos conocidas se le da el nombre de harinas compuestas. Las harinas compuestas desarrolladas a partir de varias mezclas de harinas son analizadas ampliamente por científicos de todo el mundo debido a la gran importancia significativa para advertir sobre el contenido nutricional, la rentabilidad, el desarrollo de harinas especiales para pacientes sobre todo con enfermedad celíacas, la utilización de cultivos autóctonos y la contribución a la seguridad alimentaria (Moin *et al.* , 2024).

Por lo tanto, el desarrollo de harinas compuestas es importante para la nutrición humana y para una buena economía. El abordar estos problemas globales, la FAO inició un programa de harinas compuestas en 1964, impulsando la sustitución de la harina de trigo por cultivos autóctonos como legumbres, tubérculos y mijo (Banu *et al.*, 2021).

5. Metodología

Obtención de las harinas de grillo, amaranto, maguey y trigo

Las materias primas adquiridas en el supermercado fueron trasladadas a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila (UA de C), donde se llevó a cabo su procesamiento correspondiente.

Para la obtención de la harina de amaranto, los granos enteros fueron sometidos a molienda utilizando un molino eléctrico marca Golden Wall. En el caso de la harina de maguey, el bagazo se lavó repetidamente para asegurar la eliminación de impurezas y posteriormente se distribuyó en rejillas para su deshidratación en un equipo deshidratador a 50 °C durante 24 horas. Una vez deshidratado, el material se molió hasta obtener un polvo fino. Ambas harinas se almacenaron en frascos de vidrio a temperatura ambiente para preservar sus propiedades fisicoquímicas.

| Formulación | Materia prima | | | |
|-------------|---------------|--------|----------|--------|
| | Trigo | Grillo | Amaranto | Maguey |
| F1 | 100 | - | - | - |
| F2 | 50 | - | 50 | - |
| F3 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| F4 | 50 | 10 | 20 | 20 |
| F5 | 50 | 10 | 30 | 10 |

Tabla 1. Formulación de harinas para la elaboración de las galletas

Elaboración de las galletas

Se pesaron las harinas de acuerdo con cada formulación.

| Ingredientes | Cantidad |
|--------------------|----------|
| Mantequilla | 20 g |
| Miel de agave | 67 g |
| Huevo | 1 pz |
| Sal | 1 g |
| Vainilla | 3 ml |
| Polvo para hornear | 2 g |

Tala 2. Ingredientes para la elaboración de las galletas.

Para la elaboración de las galletas, inicialmente se cremó la mantequilla junto con la miel de agave; posteriormente se incorporaron el huevo y la vainilla. El polvo para hornear se disolvió en agua tibia y se añadió a la mezcla, seguido de la incorporación de la sal. A continuación, se agregaron las harinas y se homogenizó la masa, la cual se moldeó con cortadores para galletas. Las piezas formadas se refrigeraron durante 15 minutos y posteriormente se hornearon a 175 °C por 10 minutos. Finalmente, las galletas se dejaron enfriar y se almacenaron en bolsas de plástico identificadas según cada formulación, manteniéndose a temperatura ambiente.

5.1. Análisis Bromatológico

Se realizó un análisis bromatológico mediante las técnicas oficiales de la OAC de 1980 a las galletas de las 5 formulaciones, en cada formulación se tomaron 3 repeticiones, para el análisis se molieron las galletas para obtener un polvo adecuado.

5.1.1. Materia seca total y humedad

Para determinar la humedad los crisoles se llevaron a la estufa a una temperatura de 100°C – 110°C durante 24 horas, al pasar ese tiempo se sacaron de la estufa con la ayuda de unas pinzas y se pasaron a un desecador durante media hora para que se enfriaran, al llegar al tiempo requerido para su enfriamiento se pesaron los crisoles en la balanza analítica, se tomó y registro el peso de cada crisol, después se pesaron 2 gramos de muestra seca de cada formulación colocándolo en los crisoles, después se metieron a la estufa durante 24 horas a la misma temperatura al transcurrir el tiempo se sacaron y dejaron enfriar durante media hora, para después pasar al pesaje de los crisoles con la muestra (AOAC, 2012). Los resultados obtenidos de ese procedimiento se determinaron mediante la fórmula siguiente:

$$\%MST = \frac{\text{peso del crisol con muestra seca} - \text{peso del crisol solo}}{\text{g de la muestra}} \times 100$$

$$\%Humedad = 100 - \%MST$$

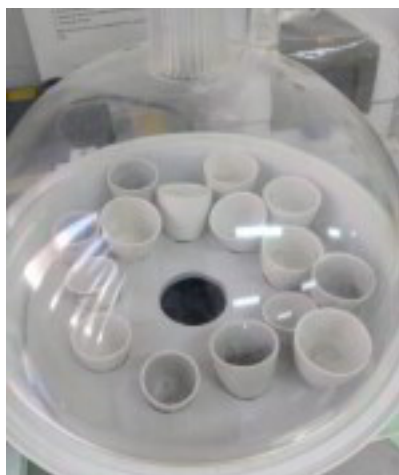


Figura 10. Determinación de humedad

5.1.2. Determinación de proteína

Para el porcentaje de proteína se usó el método Kjeldahl en este caso sacamos el nitrógeno total donde entran los tres pasos que son; Digestión, Destilación y titulación obtuvimos los resultados de esos pasos que son necesarios para sacar el porcentaje total de la proteína de cada formulación de galleta.

5.1.3. Digestión

Para la digestión usamos un matraz Kjeldahl de 100 ml, papel filtro y una balanza analítica, primero taramos en cero el papel filtro después sobre el papel pesamos 0.1 g de muestra seca enrollamos bien y lo introducimos en el matraz Kjeldahl, agregamos 5 ml de muestra digestiva para después pasar a poner el matraz en el aparato digestor, pero dentro de una campana extractora de gases y esperar el tiempo necesario hasta que la solución llegue al color deseado.

5.1.4. Destilación.

En un tubo especial de destilación se colocó el líquido obtenido de la digestión, el cual se agregó 5 ml de agua lentamente para que se disolviera el líquido o residuo, también se agregó hidróxido de sodio (NaOH) al 60%. En el matraz Erlenmeyer se colocó 5 ml de ácido bórico al 5% se agregó 2 gotas de mezcla indicadora, al final se destiló la muestra con la ayuda del equipo Kjeldahl hasta obtener 100 ml de líquido muestra (AOAC, 2012).



Figura 11. Digestión

5.1.5. Titulación

Los 100 ml obtenidos se titularon con el HC al 0.01N % hasta alcanzar el un color rosa pálido.

La fórmula para obtener los resultados es:

$$\%N = \frac{ml \text{ gastados} * 0.014 \text{ ml equivalentes al nitrógeno} * 0.02439}{gr \text{ muestra}} * 100$$

$$Proteína = \%Nitrógeno * 6.25$$



Figura 12. Titulación

5.1.3. Determinación de cenizas

Usamos la muestra obtenida en la humedad, después se incineraron en una parrilla eléctrica a una temperatura alta, la muestra debe de dejar de producir humo cuando esto suceda es que a esta lista se pasaron a una mufla con una temperatura de 600°C por un tiempo de 2-3 horas al trascurrir el tiempo se sacaron de la mufla y se dejaron enfriar por 15-20 minutos en un desecador y después se pesaron (AOAC, 2012).

Formula siguiente para las cenizas

$$\%C = \frac{\text{peso del crisol con cenizas} - \text{peso de crisol solo}}{\text{g de la muestra}} \times 100$$



Figura 13. Determinación de cenizas

5.1.4. Determinación de fibra

Se pesan 2 g de muestra molida y deshidratada en este caso de cada formulación de galletas, poner la muestra en un vaso Berzelius agregar 100 ml de solución de ácido Sulfúrico 0.225N después conectar el aparato de reflujo por un período de 30 minutos a partir de cuando empiece a hervir, al hervir bajar la temperatura para que se mantenga en ebullición suave. Transcurrido el tiempo sacar y filtrar a través de una tela de lino y lavar con 3 porciones de 100ml de agua destilada caliente. Pasar la fibra (residuo que quedó en la tela) al vaso de Berzelius con 100 ml de solución de hidróxido de sodio 0.313 N y conectar al aparato de reflujo por 30 minutos, al pasar el tiempo sacar filtrar a través de lino y lavar con 3 porciones de agua destilada caliente escurrir el exceso de agua presionando la tela de lino. Sacar la tela del embudo, extender y retirar la fibra con una espátula y depositarla en crisol de porcelana, previamente identificado. Poner a peso constante en la estufa a 100°-103°C por 12 horas, transcurrido el tiempo sacar de la estufa, enfriar y pesar. Pre incinerar la muestra en parillas meter en la mufla a 600°C por tres horas, transcurrido el tiempo sacar enfriar y pesar.

Formula de fibra

$$\% \text{ fibra} = \frac{\text{peso de crisol con fibra seca} - \text{peso de crisol fibra cenizas}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

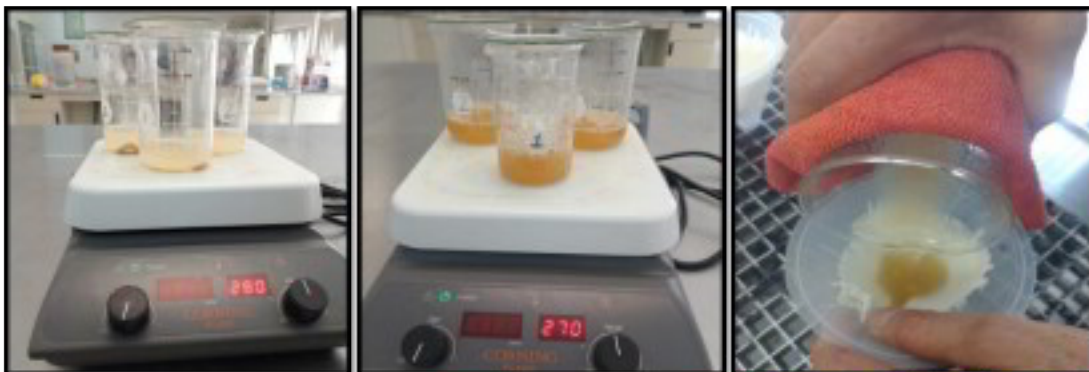


Figura 14. Determinación de fibra

5.1.5. Determinación de lípidos por el método de Soxhlet

La muestra con papel filtro utilizada en la digestión es la que usamos para la determinación de la grasa esta se introduce en el matraz bola con el papel filtro evitando la perdida de muestra después se conectó el matraz bola con hexano cerrándolo bien, el proceso de desengrasante dura aproximadamente entre 3-4 horas colocándolo en una parrilla con una velocidad de 2 gotas por segundo, al condensarse la mayor parte se retira del aparato y los matraces se llevan a la estufa a una temperatura de 100 °C para ponerlo en peso constante al pasar el tiempo se sacan y se dejan enfriar y se pasa a pesar el matraz y se anota el peso (AOAC, 2012).

Fórmula para lípidos

$$\% \text{Grasa} = \frac{\text{matraz con grasa} - \text{matraz solo}}{\text{gr muestra}} \times 100$$



Figura 15. Determinación de grasa

5.2. Azúcares totales

Para la obtención de azúcares totales con la muestra deshidratada los reactivos que utilizamos son solución de ácido sulfúrico concentrado con fenol a una concentración de 1mg/ml y debe usarse durante 24 horas iniciales de la preparación. En un recipiente con hielos colocamos un tubo, se adicionaron 1ml de muestra deshidratada, temporizamos por 1 minuto. Se adicionan 2 ml de fenol sulfúrico lentamente por las paredes del tubo para que nuestra muestra no se queme, agitamos el baño con los hielos, al momento de agitar se forma la coloración si es amarillo quiere decir que no es alto el contenido y si se pone de color café es porque la concentración es muy alta y tenemos que realizar diluciones. Poner en baño maría a ebullición durante 5 minutos, enfriar a temperatura ambiente y leer la absorbancia a 480 nm (López-Legarda et al., 2017).

| Tubo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------|---|-----|-----|-----|-----|---|
| Solución madre | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 |
| Agua destilada | 0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0 |
| Fenol sulfúrico (mL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |



Figura 16. Determinación de azúcares totales

5.3. Determinación de antioxidantes

Preparamos una solución de DPPH (que es nuestro reactivo que cambia de color cuando se detecta antioxidantes presentes) disuelta en metanol a una concentración de 60 μL , después se combinó una pequeña cantidad de la muestra (7 μL) con la solución DPPH (293 μL) en una placa especial o micro placa. Se esperó durante 30 minutos en la oscuridad para que la reacción química entre los antioxidantes de las muestras y el DPPH se completara, se midió también cuanto color absorbía a una longitud de onda de 517nm. Se usaron soluciones de referencia un blanco de metanol y la solución de DPPH pura para comparar los resultados (Qadir & Wani, 2023).



Figura 17. Determinación de Antioxidantes

5.4. Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial se dieron a probar las 5 formulaciones diferentes de galletas, para determinar cuál de las 5 es aceptable para el público en general, utilizamos el siguiente formato para la evaluación.

Ficha para la evaluación sensorial

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: _____

Producto: Galletas

Pruebe las galletas que se le presentan y cada vez que cambie de muestra tomar un poco de agua para eliminar posibles sabores residuales e indique, según la escala, su opinión sobre los atributos a evaluar: Color, Aroma, Sabor, Textura, Retrogusto y Calificación general.

Escala de calificación:

1. Me disgusta mucho
2. Me disgusta ligeramente
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta ligeramente
5. Me gusta mucho

| Muestra | Color | Aroma | Sabor | Textura | Retrogusto | Calificación general |
|---------|-------|-------|-------|---------|------------|----------------------|
| 4729 | | | | | | |
| 8351 | | | | | | |
| 1904 | | | | | | |
| 6287 | | | | | | |
| 5032 | | | | | | |

Por favor, ordene las muestras de acuerdo con su preferencia, desde la que más le gusta hasta la que menos le gusta: _____

_____.

¿Consumiría este producto si supiera que tiene un mayor contenido proteico y puede considerarse un alimento funcional? SI ____ NO __



Figura 18. Evaluación sensorial

6. Resultados y discusión

El análisis a las galletas se realizó por triplicado mostrándose los promedios de las repeticiones de cada una de las muestras.

6.1. Análisis bromatológico

6.1.1. Determinación de humedad.

En la figura 18 se puede observar que la muestra con mayor humedad es la muestra F1 que está hecha en su totalidad con harina de trigo, seguido de F4, F5, F3 y F2 ya que estas están hechas con harinas funcionales ricas en nutrientes pero carecen de la capacidad de la formación de gluten o tienen una estructura diferente y la harina de trigo que en este caso es la que mayor humedad obtuvo tiene la capacidad de formar una red de gluten cuando se mezcla con agua y se amasa, ya que el gluten es una proteína (gliadinas y gluteninas) que al hidratarse, se forma su estructura visco elástica y es eficiente para atrapar y retener agua dentro de la masa y posteriormente también en el producto horneado, el gluten es más eficiente para atrapar agua durante la cocción, un efecto que no pasa en las otras formulaciones ya que estas contienen harinas funcionales.

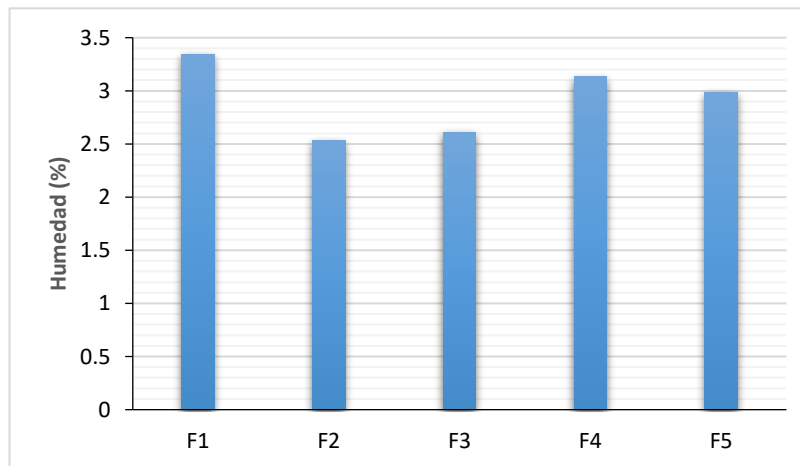


Figura 19. Contenido de humedad

6.1.2. Proteína

La muestra con mayor porcentaje de proteína fue la formulación 3 que está hecha con las mismas cantidades de harinas 25 trigo, 25 grillo, 25 amaranto y 25 maguey, mientras que la formulación con más bajo porcentaje de proteína fue la 1 Control que está hecha de harina de trigo solamente.

La Comisión Europea autorizó la comercialización de formas congeladas, secas y en polvo de *A. domesticus* como un nuevo alimento (Unión Europea (UE), 2022). Además, según Brogan, Park, Matak y Jaczynski (2021), el polvo de grillo tiene 72% de proteína, junto con cantidades significativas de leucina, lisina y valina, y 15,4% de grasa total.

El contenido de proteína de las semillas de amaranto (alrededor del 14%) es mayor que el de otros granos con una distribución equilibrada y alta biodisponibilidad de aminoácidos. Además, la proporción de aminoácidos esenciales en la proteína de amaranto es similar a los requerimientos recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que se acerca a la calidad de la proteína animal, lo que hace que la proteína de amaranto sea mejor que los granos ordinarios (Rivero Meza et al., 2023). Mientras la harina de maguey contiene aproximadamente un 6% de proteína en base seca y la harina de trigo entre 8% y 14%.

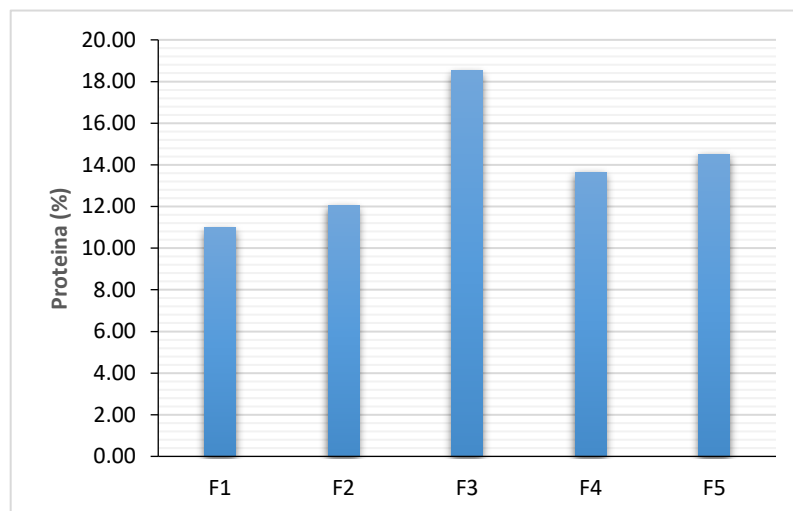


Figura 20. Contenido de proteína

6.1.3. Cenizas

Los resultados que obtuvimos en el análisis de cenizas en las cinco diferentes formulaciones de galletas fueron las siguientes: La formulación 5 con 3.37% y 3 con 3.19% fueron las que más porcentaje de cenizas obtuvieron y las más baja con 2.43% es la 1 control que es pura harina de trigo, dicho que el grillo presentó cantidades sustanciales de fósforo y zinc que cumplen con la ingesta nutricional recomendada para adultos, la principal harina con mayor contenido de cenizas es de maguey, grillo y amaranto dejando atrás la harina de trigo con menor porcentaje de cenizas además que las formulaciones están hechas de harinas funcionales.

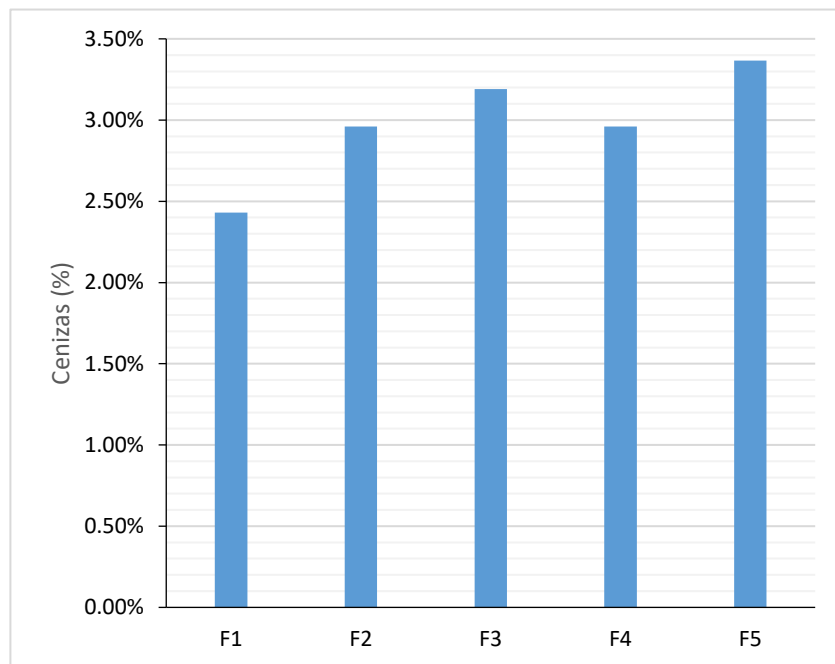


Figura 21. Contenido de cenizas

6.1.4. Fibra

Punto muy importante en la elaboración de estas 5 formulación es el contenido porcentual de fibra se observa que la formulación 3 es la que mayor presenta contenido de fibra con 1.19 % que a simple vista es la que más sobre sale a diferencia de las otras 4, debido esto a que el bagazo es esencialmente la fibra residual del maguey desde que se extraen los azucares, y sus componentes principales son paredes celulares vegetales lo que nos da como resultado un

contenido de fibra dietética alto muchas veces superior al 50% por lo cual la formulación 3 es la que mayor fibra contiene de igual manera porque está hecha con harinas funcionales

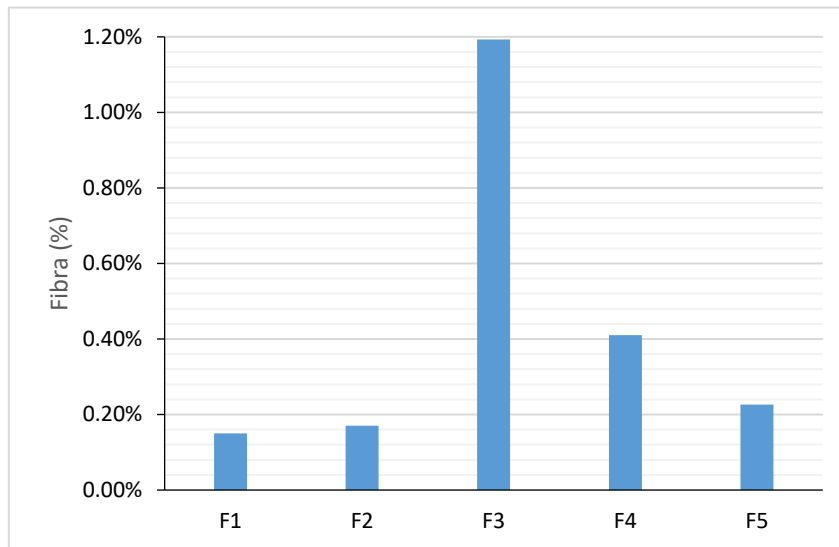


Figura 22. Contenido de fibra

6.1.5. Grasa

En este análisis la que mayor cantidad de grasa obtuvo fue la formulación 2 que está hecha con 50 gramos de harina de trigo 50 gramos de harina de amaranto esto se debe a que el 50% de su composición pero esto no quiere decir que la harina de amaranto es la más grasosa porque al contrario la harina de grillo lo es, pero en este caso la harina de amaranto es la fuente de lípidos con la mayor proporción en la mezcla total que tenemos de harinas en esta formulación, y en las otras formulaciones como la tres y la cinco contienen mayor diversidad de ingredientes, incluyendo la harina de bagazo de maguey que esto hace que se reduzca drásticamente el contenido de grasa, lo que nos diluye el aporte lipídico de las harinas de amaranto y grillo.

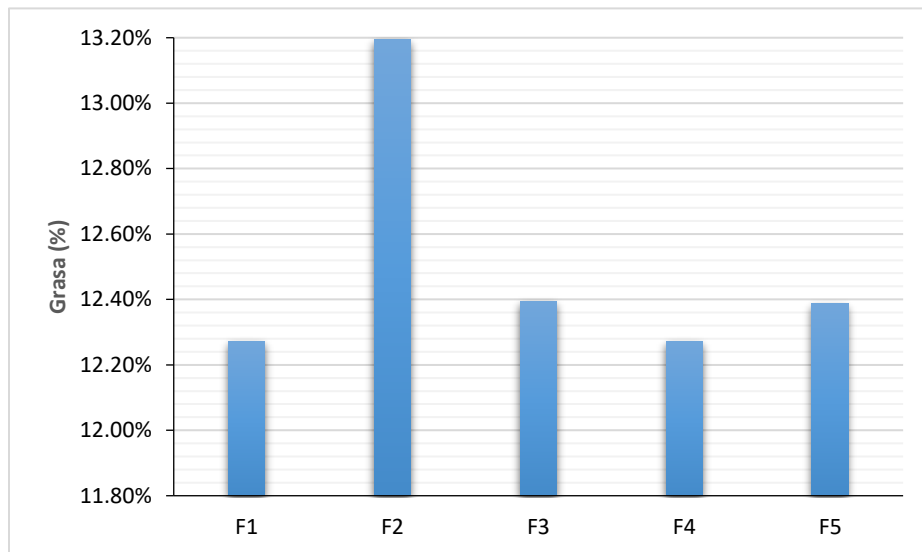


Figura 23. Porcentaje de grasa

6.2. Azúcares totales

La formulación de galleta que más cantidad de azúcares totales presento fue la formulación 3 esto debido al tipo de carbohidrato presente en la harina funcional, especialmente el bagazo de maguey y amaranto, el maguey es un ingrediente que nos eleva probablemente los azúcares totales debido al contenido de fructanos y azúcares residuales, ya que esta formulación está hecha con 25 % de bagazo de maguey que es un porcentaje alto entre todas las demás formulaciones que llevan este ingrediente.

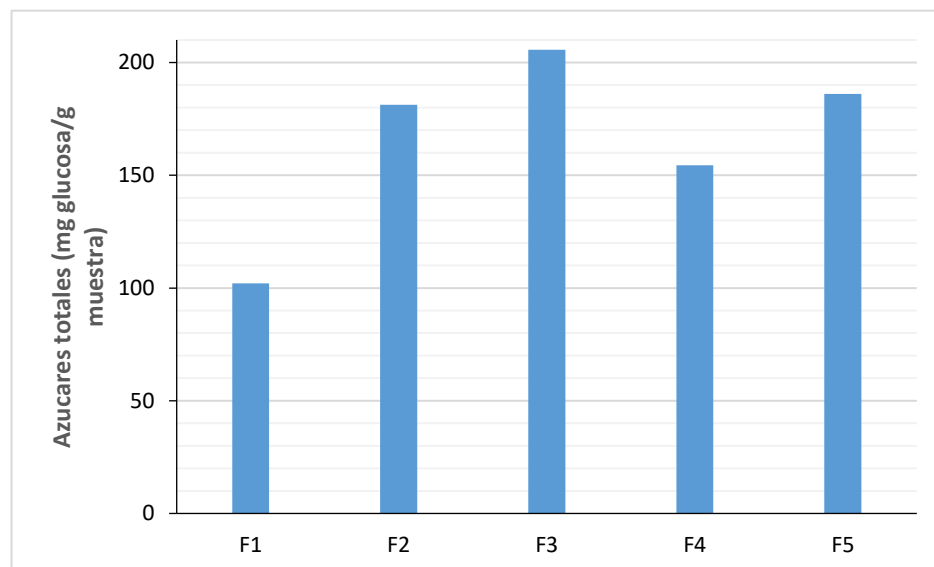


Figura 24. Azúcares totales

6.3. Antioxidantes

En la Figura 25 se observa que la formulación F3, compuesta por 25% de harina de trigo, 25% de amaranto, 25% de harina de grillo y 25% de harina de agave, presentó la mayor actividad antioxidante, expresada como porcentaje de inhibición. Este comportamiento se atribuye a la presencia de compuestos bioactivos inherentes a ingredientes como el maguey y el amaranto, los cuales contienen poli fenoles, flavonoides y otros metabolitos secundarios capaces de neutralizar especies reactivas de oxígeno. Estudios previos (Qadir & Wani, 2023) reportan que el maguey posee actividad antioxidante significativa, lo que contribuye a conferir propiedades funcionales a los alimentos que lo incorporan.

En contraste, la formulación F1, empleada como control y elaborada sin harinas alternativas, mostró un porcentaje de inhibición considerablemente menor, lo cual confirma su carácter de producto convencional sin actividad bioactivos relevante. Esta diferencia sugiere que la adición de harinas no tradicionales puede mejorar las propiedades funcionales del producto final, lo que potencialmente contribuye a la prevención o mitigación de enfermedades asociadas con el estrés oxidativo, como el síndrome metabólico. Después de F3, la segunda mayor actividad antioxidante correspondió a la formulación F5, con aproximadamente 14% de inhibición, seguida de F4 con cerca de 12% y F2 con 8 %, esta última duplicando el valor observado en F1 (4%).

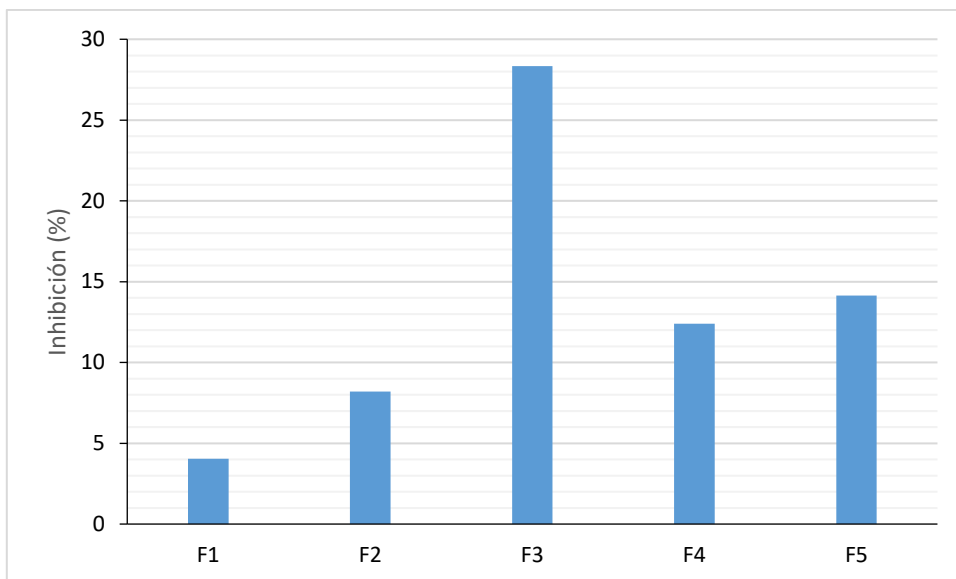


Figura 25. Actividad antioxidante por DPPH

6.4. Evaluación sensorial

Se realizó un análisis sensorial de las cinco formulaciones de galletas utilizando un panel consumidor no entrenado conformado por 40 participantes, con el propósito de determinar la formulación con mayor aceptabilidad global. Los resultados presentados en la Figura 26 muestran que la formulación F1 (control), elaborada exclusivamente con harina de trigo, obtuvo la mayor aceptación. Esto puede atribuirse a que la harina de trigo proporciona el sabor, aroma y textura tradicionales a los que los consumidores están familiarizados, lo que generalmente incrementa la preferencia hacia productos convencionales. En contraste, las formulaciones elaboradas con harina de grillo y bagazo de maguey presentaron menor aceptabilidad, probablemente debido a la presencia de notas sensoriales no convencionales, asociadas a compuestos fibrosos que pueden generar atributos indeseables como sabores amargos o terrosos, así como cambios perceptibles en color, aroma y retrogusto. Estos factores suelen relacionarse con una menor familiaridad y, en algunos casos, con la percepción de menor calidad por parte del consumidor. No obstante, la formulación F5 mostró una aceptabilidad sensorial más cercana a la de la formulación control. Esta formulación, compuesta por 10 % de harina de grillo, 30 % de harina de amaranto y 10 % de harina de bagazo, presentó

un perfil sensorial más equilibrado. El mayor contenido de harina de amaranto pudo haber contribuido a notas ligeramente más dulces, las cuales contrarrestan parcialmente las sensaciones amargas o terrosas características de las harinas de grillo y agave. Por el contrario, en las formulaciones F3 y F4, que contenían concentraciones de harina de agave superiores al 10 % (20 % y 25 %, respectivamente), se observó una disminución en la aceptación general y en el atributo de retrogusto, lo que sugiere que niveles elevados de esta materia prima afectan negativamente la percepción sensorial. Asimismo, se identificó una influencia del contenido de amaranto sobre el atributo de color, donde mayores concentraciones intensificaron tonalidades características del cereal.

En conjunto, los resultados indican que la formulación F5 es la que presenta mayor similitud sensorial con la galleta control, por lo que podría considerarse una alternativa viable para el desarrollo de galletas funcionales con características sensoriales aceptables para el consumidor.

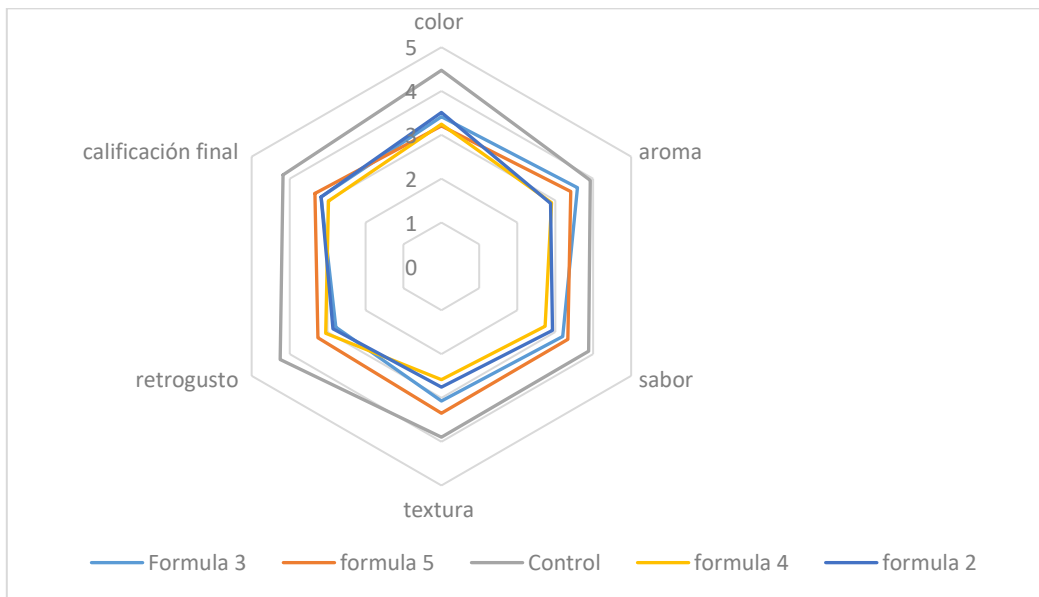


Figura 26. Análisis sensorial

7. Conclusiones

Se logró obtener 4 formulaciones diferentes de galletas utilizando harina de amaranto, grillo y bagazo de maguey para así realizar un análisis bromatológico a cada formulación. Se logró hacer análisis fisicoquímicos y nutrimentales de las 4 formulaciones humedad, proteínas, grasas, fibra, minerales y antioxidantes y determinando que formulación resulto mejor al incorporar harinas no convencionales si no harinas funcionales determinando cuál de las cuatro nos proporciona mayor contenido nutrimental.

Se hizo un análisis sensorial para determinar que formulación es ms aceptable para la población en tanto, sabor, color y aroma y saber si consumirían el producto sabiendo que tiene beneficios para la salud y la que obtuvo mejor aceptabilidad fue la formulación 5.

8. Referencias bibliográficas.

Aderibigbe, OR, Ezekiel, OO, Owolade, SO, Korese, JK, Sturm, B. y Hensel, O. (2022). Explorando el potencial del grano de amaranto subutilizado (*Amaranthus spp.*) a lo largo de la cadena de valor para la seguridad alimentaria y nutricional: Una revisión. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*, 62 (3), 656-669.

Ahmed, M. H., Vasas, D., Hassan, A., y Molnár, J. (2022). The impact of functional food in prevention of malnutrition. *PharmaNutrition*, 19, 100288.

Akhtar, S., Gupta, A. K., Varshney, A., Rawat, M., Choudhary, A., Kandpal, R., ... & Preet, M. S. (2024). Comprehensive review of sustainable utilization of *Arenga obtusifolia* Griff. as a food. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100945.

AOAC (2012), Métodos Oficiales de Análisis. 19a Edición, Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, Arlington, VA.

Badiu, E., Aprodu, I. y Banu, I. (2014). Tendencias en el desarrollo de productos de panadería sin gluten. *Anales de la Universidad Dunarea de Jos de Galati. Fascículo VI - Tecnología de Alimentos*, 38 (1), 21-36.

Banu, M. T., Kaur, J., Bhadariya, V., Singh, J., & Sharma, K. (2021). Role of consumption of composite flour in management of lifestyle disorders. *Plant Archives (09725210)*, 21(2).

Cloninger, C. R., Cloninger, K. M., Zwir, I., & Keltikangas-Järvinen, L. (2019). The complex genetics and biology of human temperament: a review of traditional concepts in relation to new molecular findings. *Translational psychiatry*, 9(1), 290.

compuestos bioactivos. *Current Bioactive Compounds*, 8 (3), 218-231.

Dabija, A., Ciocan, M. E., Chetrariu, A., & Codină, G. G. (2022). Buckwheat and amaranth as raw materials for brewing, a review. *Plants*, 11(6), 756.

Dai, Z., Zhao, Y., Ke, Y., Huang, J., Zhu, J., Wu, H., Yang, Y., Shang, H., & Xia, Z. (2025). Alternative protein sources and healthy skeletal muscle aging: A narrative

review. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 133). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2025.106990>

Danciu, M. y Negură, I. (2022). Diagnóstico de trastornos relacionados con el gluten. En *Trastornos relacionados con el gluten* (pp. 129-147). Academic Press.

DeChristopher, L. R., & Tucker, K. L. (2020). Excess free fructose, apple juice, high fructose corn syrup and childhood asthma risk—the National Children’s Study. *Nutrition Journal*, 19(1), 60.

Dufoo-Hurtado, E., Gaytán-Martínez, M., Cabrera-Ramírez, A. H., Leal-Urbina, E. A., Rodríguez-García, M. E., & Ramírez-Jiménez, A. K. (2025). Upcycling agave and tortilla residues for the sustainable production of edible fungi and potential functional ingredients. *Future Foods*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100742>

Gómez-Gómez, C. V., Castillo Cortéz, I. G., Martínez Montenegro, I., y Ibañez San Martín, O. L. (2024). The regulatory status of functional foods in the economic integration organizations of Latin America and the Caribbean. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 73(4), 297-312.

González-Montemayor, Á. M., Flores-Gallegos, A. C., Serrato-Villegas, L. E., López-Pérez, M. G., Montañez-Sáenz, J. C., & Rodríguez-Herrera, R. (2019). Honey and syrups: Healthy and natural sweeteners with functional properties. In *Natural beverages* (pp. 143-177). Academic Press.

Hamaker, BR y Tuncil, YE (2014). Una perspectiva sobre la complejidad de las estructuras de la fibra dietética y su posible efecto en la microbiota intestinal. *Revista de biología molecular*, 426 (23), 3838-3850.

Hernández-Ramos, L., García-Mateos, R., Ybarra-Moncada, M. C., & Colinas-Leon, M. T. (2020). Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (Agave salmiana and A. mapisaga) obtained through three treatments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1306-1316.

Kõiv, V., y Tenson, T. (2021). Bacterias degradadoras de gluten: disponibilidad y aplicaciones. *Microbiología Aplicada y Biotecnología*, 105 (8), 3045-3059.

Leal-Díaz, AM, Santos-Zea, L., Martínez-Escobedo, HC, Guajardo-Flores, D., Gutiérrez-Urbe, JA, & Serna-Saldivar, SO (2015). Efecto de la madurez de Agave americana y Agave salmiana sobre el contenido de saponinas del aguamiel (savia de agave). *Revista de química agrícola y alimentaria*, 63 (15), 3924-3930.

López-Legarda, X., Taramuel-Gallardo, A., Arboleda-Echavarría, C., Segura-Sánchez, F., & Restrepo-Betancur, L. F. (2017). Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Revista Cubana de Química*, 29(2), 180–198. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000200002&lng=es&tlng=es

Man, S., Liu, T., Yao, Y., Lu, Y., Ma, L., & Lu, F. (2021). Friend or foe? The roles of inulin-type fructans. *Carbohydrate Polymers*, 252, 117155.

Ministry of Health, Labour and Welfare. (2024). Food for Specified Health Uses (FOSHU). Food for Specified Health Uses (FOSHU). <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/foodsafety/fhc/02.html>

Moin, A., Hosseini, E., Smaoui, S., & Varzakas, T. (2025). Research progress on lentil-based composite flours: physicochemical, techno-functional properties, and high-performance food applications. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 17(2), 232-250.

Olaimat, A. N., Al-Rousan, W. M., Al-Marazeeq, K. M., Osaili, T. M., Ajo, R. Y., Angor, M., & Holley, R. A. (2023). Physicochemical and sensory characteristics of gluten-free corn-based biscuit supplemented with walnut and peanut for celiac patients. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(7), 413-419.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). Hambre e inseguridad alimentaria. <https://www.fao.org/hunger/es/>

OVANDO, A. C., VILET, L. M., ORDAZ, J. J., Godínez, J. R., ESCALANTE, E. P., GUERRERO, A. E. C., ... & OLIVARES, L. G. G. Aguamiel syrup as a technological diversification product: Composition, bioactivity and present panorama.

Qadir, N., & Wani, I. A. (2023). Functional properties, antioxidant activity and in-vitro digestibility characteristics of brown and polished rice flours of Indian temperate region. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(1), 43-57.

Quijano, L. (2021). Plan de negocio para el cultivo y procesamiento de harina de grillo (*Acheta domesticus*) como fuente de proteína para dieta humana.

Rivero Meza, S. L., Hirsch Ramos, A., Cañizares, L., Raphaelli, C. D. O., Bueno Peres, B., Gaioso, C. A., ... & de Oliveira, M. (2023). A review on amaranth protein: composition, digestibility, health benefits and food industry utilisation. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1564-1574.

Rivero Meza, S. L., Hirsch Ramos, A., Cañizares, L., Raphaelli, C. D. O., Bueno Peres, B., Gaioso, C. A., ... & de Oliveira, M. (2023). A review on amaranth protein: composition, digestibility, health benefits and food industry utilisation. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1564-1574.

Santos-Zea, L., Maria Leal-Diaz, A., Cortes-Ceballos, E., y Alejandra Gutierrez-Urbe, J. (2012). Agave (*Agave spp.*) y sus productos tradicionales como fuente de

Singh, A. K., Pal, P., Pandey, B., Goksen, G., Sahoo, U. K., Lorenzo, J. M., & Sarangi, P. K. (2023). Development of “Smart Foods” for health by nanoencapsulation: Novel technologies and challenges. *Food Chemistry: X*, 20, 100910.

Singh, N., Samarth, R. M., Vashishth, A., & Pareek, A. (2024). Amaranthus as a potential dietary supplement in sports nutrition. *CyTA-Journal of Food*, 22(1), 2375253.

Skendi, A., Papageorgiou, M. y Varzakas, T. (2021). Sustitutos ricos en proteínas del gluten en pan sin gluten. *Foods*, 10 (9), 1997.

Srivastava, S., Sreerama, Y. N., & Dharmaraj, U. (2021). Effect of processing on squalene content of grain amaranth fractions. *Journal of Cereal Science*, 100, 103218.

Uribe Hoyos, J. T., & Morales Arévalo, K. S. (2022). Revisión sistemática del uso de harina de grillo Acheta Domesticus como ingrediente en productos alimenticios.

Uribe Hoyos, J. T., & Morales Arévalo, K. S. (2022). Revisión sistemática del uso de harina de grillo Acheta Domesticus como ingrediente en productos alimenticios.

Uribe. J. y Morales. K. (2022). Revisión sistemática del uso de harina de grillo Acheta domesticus como ingrediente en productos alimenticios.

Velizquez-De Lucio, A. S., Téllez-Jurado, A., Hernindez-Domfnguez, E. M., Tovar-Jiménez, X., Castillo-Ortega, L. S., Mercado-Flores, Y., & Alvarez-Cervantes, J. (2022). Evaluation of bagasse Agave salmiana as a substrate for the cultivation of Pleurotus djamor. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 21(1). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2735>

Verma, D. K., Patel, A. R., Thakur, M., Singh, S., Tripathy, S., Srivastav, P. P., ... & Aguilar, C. N. (2021). A review of the composition and toxicology of fructans, and their applications in foods and health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103884.

Villagrán, Z., González Torres, S., Montalvo González, E., García De Alba Verduzco, J. E., Ramírez Hernández, B. C., y Anaya Esparza, L. M. (2022). Alimentos funcionales y su impacto en la salud humana. *Educación y Salud, Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 10(20), 223-231.