

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

“Desarrollo de Galletas Funcionales a Base de Harina de *Beta Vulgaris* y *Agave salmiana* Para Mejorar el Contenido Nutricional”

Por:

Kayssy Dayam Berrum Jaimes

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Desarrollo de Galletas Funcionales a Base de Harina de *Beta vulgaris* y Agave *salmiana* Para Mejorar el Contenido Nutricional

Por:

KAYSSY DAYAM BERRUM JAIMES

TESIS

Que se somete a la consideración del II. 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. María Elena Castelo Mejía
Asesor



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Asesor



M.C. Rosa Marisol Martínez Hernández
Asesor



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



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Desarrollo de Galletas Funcionales a Base de Harina de *Beta vulgaris* y *Agave salmiana* Para Mejorar el Contenido Nutricional

Por:

KAYSSY DAYAM BERRUM JAIMES

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

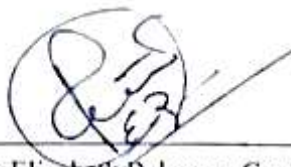
APROBADA



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Presidente



Dra. Maria Elena Castelo Mejia
Vocal



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Vocal



M.C. Rosa Marisol Martínez Hernández
Vocal

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2024

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado "**Desarrollo de Galletas Funcionales a Base de Harina de *Beta Vulgaris* y *Agave salmiana* Para Mejorar el Contenido Nutricional**" 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



Kayssy Dayam Berrum Jaimes

Índice principal

Agradecimientos.....	8
Dedicatoria.....	9
1. Introducción	12
2. Objetivos.....	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. Justificación.....	15
4. Antecedentes	16
4.1. Nutrientes y compuestos bioactivos de la remolacha (<i>Beta Vulgaris</i>).....	16
4.1.2. Composición química.....	17
4.2. Betalaínas	18
4.3. Agave salmiana	19
4.4. Trigo harinero (<i>Triticum aestivum L.x</i>)	20
4.5. Alimentos funcionales	21
4.6. Galletas	23
4.7. Qué es el gluten.....	24
4.8. Antioxidantes	26
4.9. Antioxidantes presentes en los alimentos.....	27
4.10. Actividad antioxidante.....	28
4.11. Vitaminas	30
4.12. Fibra.....	31
4.12.1. Propiedades	32
4.12.2. Aspectos nutricionales	32
4.13. Minerales	33
5. Metodología	36
5.1. Selección y análisis de materia prima.....	36
5.1.1. Procesamiento de materia prima.....	36
5.1.2. Deshidratación de materia prima	37
5.1.3. Obtención de harina de betabel	37
5.2. Desarrollo de distintas formulaciones.....	38

5.2.1. Establecer porcentajes.....	38
5.2.2. Fijación de ingredientes no variables	39
5.3. Desarrollo del producto.	39
5.3.1. Obtención de utensilios	39
5.3.2. Porcionar ingredientes	39
5.3.3. Mezcla y amasado	39
5.3.4. Horneado y almacenamiento.....	40
5.4. Análisis de las galletas.....	40
5.4.1. Obtención del peso de las galletas	40
5.4.2. Deshidratación de galletas	40
5.4.3. Pesar galletas deshidratadas y análisis de textura	41
5.4.4. Evaluación de colorimetría	41
5.4.5. Molienda de galletas	42
5.4.6. Análisis bromatológico	43
5.4.6.1. Determinación de Grasa.....	43
5.4.6.2. Materia seca total y Humedad.....	44
5.4.6.3. Determinación de Fibra cruda.....	45
5.4.6.4 determinaciones de nitrógeno y Proteína cruda.....	46
5.4.6.5. Determinación de cenizas.....	47
5.4.7. Extracción de compuestos bioactivos	49
5.4.7.1. Polifenoles hidrolizables	50
5.4.7.2. Azúcares totales	50
5.4.8. Actividades antioxidantes	51
5.4.8.1. DPPH	51
5.4.8.2. FRAP.....	51
5.4.9. Evaluación sensorial.	52
5.4.9.1. Preparación de muestras.....	52
5.4.9.2. Evaluación de las muestras.....	52
6. Resultados y discusión.....	53
6.1. Selección y análisis de materia prima.....	53
6.1.2. Procesamiento de materia prima.....	54

6.1.3. Deshidratación de materia prima	55
6.1.4. Obtención de harina de betabel	55
6.2. Desarrollo de distintas formulaciones.	56
6.2.1. Establecer porcentajes	56
6.2.2. Fijación de ingredientes no variables.....	57
6.3. Desarrollo del producto.	58
6.3.1. Obtención de utensilios	58
6.3.2. Porcionar ingredientes	59
6.3.3. Mezcla y amasado.....	59
6.3.4. Horneado y almacenamiento	60
6.4. Análisis de las galletas	62
6.4.1. Obtención del peso de las galletas.....	62
6.4.2. Deshidratación de galletas	63
6.4.3. Análisis de textura.....	64
6.4.5. Evaluación de colorimetría	64
6.4.4. Molienda de galletas	66
6.4.6. Análisis bromatológico	67
6.4.7. Extracción de compuestos bioactivos	72
6.4.7.1. Polifenoles totales	72
6.4.7.2. Azúcares totales	73
6.4.7.3. Antioxidantes con las técnicas de DPPH y FRAP.	74
6.5. Evaluación sensorial	75
6.5.1. Preparación de muestras	75
6.5.2. Evaluación de las muestras	76
6.5.2.1. Color	76
6.5.2.2. Olor	77
6.5.2.3. Sabor	78
6.5.2.4. Textura.....	78
6.5.2.5. Dureza	79
6.5.2.6. Aceptación global.....	80
8. Bibliografía	82

Agradecimientos

Agradezco a Dios por guiarme y bendecirme, por darme la fuerza, la capacidad y la sabiduría suficiente para poder llegar a este momento de mi vida.

A mi familia por brindarme su apoyo, amor y cariño durante toda esta etapa de mi formación académica, pero principalmente a mi madre quien fue el pilar que siempre me sostuvo, quien es y siempre será mi ejemplo de fortaleza y resiliencia, agradezco cada uno de sus consejos y palabras de aliento que me ayudaron a seguir adelante cuando no creía poder más.

Al Dr. Mario Alberto Cruz Hernández a quien agradezco por dejarme trabajar lado a lado y compartir sus conocimientos conmigo, así como también la paciencia y apoyo para llevar a cabo este proyecto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro quien será mi Alma Mater lo que me resta de vida, agradezco por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y obtener cada uno de los conocimientos y habilidades que ahora llevo conmigo. He de decir que me siento feliz de haber pasado los últimos cuatro años en esta institución quien no solo me brindo conocimiento sino muchas buenas experiencias y amistades.

A mis amigas a quienes agradezco los momentos compartidos y sus consejos pero sobre todo a mi amiga Sofía Melinna Alcocer Herrera quien estuvo desde el día uno, brindándome su apoyo incondicional.

También quiero mencionar a una persona especial, Luis Fernando Bravo Ruiz quien me brindó su cariño, apoyo incondicional y palabras de aliento en los momentos difíciles que lo necesite durante esta trayectoria.

Dedicatoria

Dedico esta tesis principalmente a mi madre *Argelia Jaimes Castro*

Porque sin su apoyo y motivación no podría haber logrado todo esto. Gracias por el amor y los consejos que siempre me brindaste, por levantarme cada que tropezaba por guiarme y estar a mi lado siempre, gracias por cada esfuerzo y sacrificio. Te amo mami, sin ti no habría podido lograr lo que hasta hoy he logrado.

A mis hermanos: *Bryan Javier Berrum Jaimes y Brandon Yahir Berrum Jaimes*

Gracias por su cariño y su apoyo, por acompañarme durante toda mi trayectoria académica.

Espero y deseo sientan que este logro no solo es mío sino también de ustedes, porque siempre vamos de la mano y son mi motivación de cada día, los amo hoy y siempre.

Resumen

En el presente proyecto se realizó el desarrollo de galletas funcionales a base de betabel y Agave con beneficios a la salud y que puedan ser utilizados para mejorar la nutrición infantil. El betabel utilizado se compró en un supermercado mientras que la harina de agave se obtuvo de un ejido de la ciudad de Saltillo. Las muestras fueron secadas y molidas hasta obtener la harina, posteriormente se realizaron formulaciones de las galletas a las cuales se les sustituyó un 10 % de harina de trigo por harina de *Agave salmiana* y se sustituyó por harina de betabel en un 5 10 y 15 % para obtener tres formulaciones diferentes, las cuales se determinaron las propiedades de la harina, así como el efecto nutrimental en la sustitución, una vez que se hornearon las galletas, se les realizó la evaluación nutrimental en cada formulación obteniendo también la cantidad de antioxidantes para posteriormente hacer un análisis sensorial para seleccionar la formulación con las mejores características organolépticas. La harina de betabel fue la que mayor cantidad de actividad antioxidante presentó, mientras que la formulación con el 15% de betabel presentó la menor cantidad de grasas mientras que la de 5% presentó un aumento en la concentración de proteína, la evaluación de cantidad de minerales y fibra fue la de 15 % de betabel.

De acuerdo a los resultados obtenidos las galletas desarrolladas muestran una mejora en sus propiedades nutrimentales por lo que son un gran aporte como alimento funcional para los niños.

Palabras Clave: Galletas funcionales, *Agave salmiana*, *Beta vulgaris*.

Abstract

In this project, the development of functional cookies based on beet and Agave with health benefits and that can be used to improve children's nutrition was carried out. The beet used was bought in a supermarket while the agave flour was obtained from an ejido in the city of Saltillo. The samples were dried and ground until flour was obtained, subsequently formulations of the cookies were made in which 10% of wheat flour was replaced by Agave salmiana flour and 5, 10 and 15% were replaced with beet flour. To obtain three different formulations, in which the properties of the flour were determined, as well as the nutritional effect in the substitution, once the cookies were baked, the nutritional evaluation was carried out in each formulation also obtaining the amount of antioxidants to subsequently carry out a sensory analysis to select the formulation with the best organoleptic characteristics. The beet flour was the one with the greatest amount of antioxidant activity, while the formulation with 15% beet presented the least amount of fat while the 5% one presented an increase in protein concentration, the evaluation of the amount of minerals and fiber was 15% beet.

According to the results obtained, the developed cookies show an improvement in their nutritional properties, making them a great contribution as a functional food for children.

Key words: Functional foods, *Agave salmiana*, *Beta vulgaris*

1. Introducción

Los alimentos funcionales son aquellos que contienen dentro de su composición algún componente biológicamente activo, el cual al ser incluido en una dieta diaria desencadena procesos metabólicos y fisiológicos benéficos para el organismo, de tal manera que se previenen enfermedades y se mantiene una buena salud.

En la actualidad el interés de los consumidores por conocer la relación entre la alimentación y la salud ha ido en aumento. Los consumidores se encuentran cada vez más conscientes sobre su cuidado y lo que se llevan a la boca, buscando dentro del mercado aquellos productos y alimentos que aporten hacia su salud y bienestar. Un alimento funcional es aquel que no solo aporta su valor nutritivo básico, sino que además de eso aporta algunos otros nutrientes.

Algunos de los componentes bioactivos que podemos encontrar en estos alimentos pueden ser probióticos, prebióticos, vitaminas, carotenoides o compuestos fenólicos. Existen los alimentos funcionales naturales o no naturales que son aquellos a los que se les agrega o quita parte de su contenido.

El Betabel (*Beta Vulgaris*), también conocido como Remolacha es un tubérculo totalmente comestible, desde las hojas hasta la raíz, es de un color rojo intenso y tiene forma de bulbo. En la industria alimentaria este tubérculo suele utilizarse en forma de polvo o como un pigmento obtenido de la extracción para la elaboración de ciertos productos como postres, salsas, mermeladas, etc.

Las betalaínas exhiben varias actividades biológicas, incluyendo propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, que son altamente imperativas. Estudios in vivo posteriores informaron que las betalaínas protegen varios órganos del cuerpo, lo

que conduce a una mejora de la salud. Los órganos del cuerpo, incluyendo el corazón, el hígado, los riñones, los pulmones, etc., son importantes para una vida saludable. Sin embargo, estos órganos pueden verse afectados o dañados por varios factores de estrés, tóxicos y sustancias nocivas. Estudios recientes han afirmado que las betalaínas podrían proteger todos los órganos vitales del cuerpo a través de mecanismos antioxidantes y antiinflamatorios. Se ha proporcionado una discusión exhaustiva sobre el mecanismo de acción de las betalaínas en la protección de varios órganos del cuerpo, incluyendo el efecto cardioprotector, la capacidad hepatoprotectora, la capacidad de protección renal, la capacidad reproductiva, el efecto neuroprotector, la protección pulmonar y la capacidad de protección intestinal.

En este proyecto se realizó el desarrollo de galletas a base de harina de betabel y adicionadas con harina de agave con lo cual se pretende el desarrollo de un producto con un mayor contenido nutritivo que las que se consiguen actualmente en el mercado generando una galleta funcional con los beneficios del betabel y el agave.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Elaborar una galleta funcional sustituyendo la harina de trigo (*Triticum Spp*) por harina de betabel (*Beta Vulgaris*) y maguey (*Agave Salmiana*) de tal manera que se pueda aumentar su valor nutricional, aprovechando sus antioxidantes, betalainas, fibra, minerales y vitaminas que nos van a brindar dichos alimentos para obtener un mayor beneficio hacia el consumidor.

2.2 Objetivos Específicos

- Obtener las materias primas (harina de betabel y agave)
- Obtener las materias primas que presenten la mejor calidad para la elaboración de las harinas funcionales (*Beta vulgaris* y *Agave Salmiana*).
- Elaborar distintas formulaciones tomando como base un 10 % de harina de agave y modificando la concentración de harina de betabel.
- Seleccionar las formulaciones para la elaboración de las galletas funcionales y la determinación de actividad antioxidante.
- Realizar una evaluación sensorial de las formulaciones para la selección de las galletas funcionales que presenten mejores atributos.

3. Justificación

El betabel es un alimento considerado como una gran fuente de nutrientes, ya que cuenta con una considerable capacidad antioxidante y preventiva hacia enfermedades y padecimientos. Dicho vegetal no es tan consumido como parte de una dieta diaria,

En la actualidad se busca la manera en que un alimento no solo tenga un aporte nutrimental básico, sino que pueda dar un beneficio extra a quien lo consume; por lo que en este proyecto se indaga el modo de llevar esto a cabo con el desarrollo de un producto tipo galleta que aparte de sus nutrientes base también se tengan nutrientes extra provenientes de la harina de *Beta vulgaris* y Agave salmiana.

4. Antecedentes

4.1. Nutrientes y compuestos bioactivos de la remolacha (*Beta Vulgaris*)

La remolacha se compone de múltiples fitoquímicos biológicamente activos, incluidas betalaínas (p. ej., betacianinas y betaxantinas), flavonoides, polifenoles, saponinas y nitrato inorgánico (NO₃); también es una rica fuente de diversos minerales como potasio, sodio, fósforo, calcio, magnesio, cobre, hierro, zinc y manganeso. Se consume comúnmente en forma de jugo suplementario, polvo, pan, gel, hervido, secado al horno, encurtido, en puré o en mermelada procesado en diferentes culturas alimentarias. Como se muestra en la Tabla 1, 100 ml de jugo de remolacha se componen de 95 Kcal de energía, 22,6 g de carbohidratos, 0,70 g de proteínas, 0,16 g de lípidos totales, 0,91 g de fibra dietética total y 12 g de azúcares totales. Como tal, la composición micronutricional de 100 ml de jugo de remolacha se estima en 8,8 g de sacarosa, 0,86 g de fructosa y 2,5 g de glucosa. (**Mirmiran et al., 2020**).



Figura 1. *Beta vulgaris*

4.1.2. Composición química

El color característico del betabel se debe a que en su composición existe un grupo de compuestos nitrogenados conocidos como betalainas, se encuentran almacenadas en las vacuolas y son categorizadas en betacianinas, las cuales le confieren el color rojo-violeta característico, se encuentran presentes de un 75 a 95% (**Kanner et al., 2001**), y betaxantinas, éstas se encuentran presentes en el betabel en una proporción menor y son de color amarillo-naranja (Stíntzing et al. 8,2004). Las betalainas además de impartir color al betabel, le confieren características antioxidantes (**Kujula et al., 2001**).

Ambos componentes estructurales de las betalaínas (una amina fenólica y una cíclica) son buenos donadores de electrones, por lo que las betalaínas tienen propiedades antioxidantes (**J. Agric. Food Chem. 2001**). Las actividades antioxidantes y antirradicales de la betanina se han analizado y explicado en términos de la capacidad donadora de electrones, la energía de disociación del enlace y el potencial de ionización de la molécula (**Gliszczyńska-Świgło et al., 2006**). Debido a la resonancia, el grupo amino secundario se conjuga con el grupo hidroxilo que participa en el equilibrio tautomérico ceto-enol del grupo formilo. La extracción de un electrón del oxígeno fenólico de las betacianinas es relativamente fácil y los radicales de betacianina formados se estabilizan mediante la deslocalización del electrón desapareado a través del anillo aromático. La conexión

del sistema de resonancia electrónica característico de la betalaína con el anillo aromático.

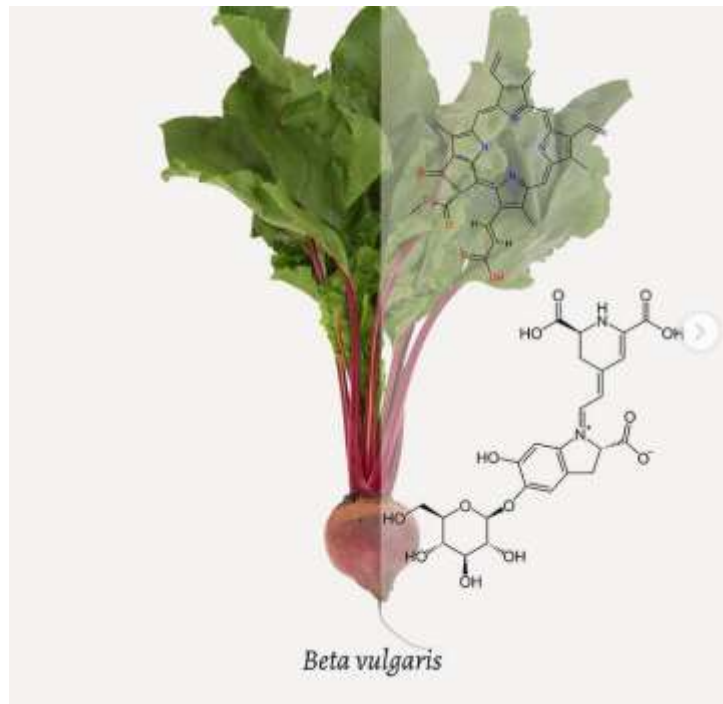


Figura 2. *Betabel y as moléculas que dan su color característico*

4.2. Betalaínas

Las betalaínas son pigmentos vacuolares compuestos de una estructura central nitrogenada, el ácido betalámico. El ácido betalámico se condensa con compuestos amino (ciclo-DOPA/sus derivados glucosílicos) o aminoácidos/derivados para formar betacianinas violetas y betaxantinas amarillas. Estos pigmentos han despertado la curiosidad de los investigadores científicos en las últimas décadas. Su importancia aumentó no sólo por la orientación del mercado hacia los colorantes y antioxidantes naturales, sino también por sus propiedades de seguridad y

promoción de la salud. Hasta la fecha, se han identificado unas 78 betalaínas a partir de plantas de unas 17 familias. (**Belhadj Slimen et al., 2017**)

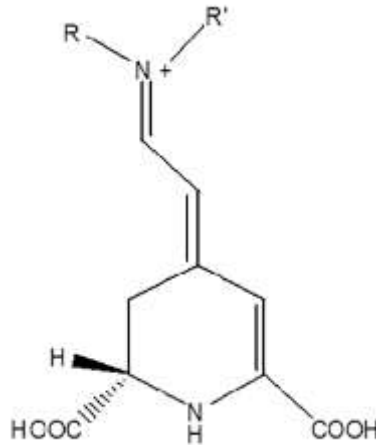


Figura 3. Estructura básica de las betalainas

4.3. Agave salmiana

El maguey pulquero (*Agave salmiana*) es originario de México, se produce principalmente en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México y Puebla, llega a medir hasta 3 metros de altura con 10 metros de circunferencia.

Desde tiempos prehispánicos y a la fecha, en México el maguey tiene varios usos, siendo uno de los principales la elaboración de la tradicional bebida de los dioses, el pulque, resultado de la fermentación del aguamiel. (**De Información Agroalimentaria y Pesquera, s. f.**)



Figura 4. Agave salmiana

4.4. Trigo harinero (*Triticum aestivum* L.x)

Planta gramínea, con una altura de 30 a 150 cm; su tallo es recto y cilíndrico; su hoja es lanceolada con un ancho de 0.5 a 1 cm y una longitud de 15 a 25 cm. Cada planta tiene de 4 a 6 hojas. Su inflorescencia es una espiga compuesta por un tallo central de entrenudos cortos llamados raquis; la flor consta de un pistilo y tres estambres protegidos por dos brácteas verdes o glumillas.

La molienda de su grano produce una harina que contiene proteínas llamadas gliadinas y gluteninas que en su conjunto forman el gluten, el cual facilita la elaboración de panes de levadura de alta calidad. La cantidad de semilla depende de la variedad y del tamaño de ésta.

En la industria de la panificación se emplea para la preparación de pan, galletas o pasteles, sobre todo con las variedades de grano suave y blando. (***Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, s. f.***).



Figura 5. Granos de trigo y harina obtenida de estos granos

4.5. Alimentos funcionales

Existen varias definiciones de alimento funcional, pero, en general, se considera como tal a todo alimento que, además de su valor nutritivo, contiene componentes biológicamente activos que aportan algún efecto añadido y beneficioso para la salud y reducen el riesgo de contraer ciertas enfermedades.

Desde el punto de vista práctico, esto quiere decir que los alimentos funcionales pueden ser naturales, o bien aquellos a los que se ha añadido, incrementado su contenido o eliminado algún componente, o bien a los que se ha modificado la

naturaleza o biodisponibilidad de alguno de sus componentes, o cualquiera de las combinaciones anteriores.

Las características de un alimento funcional son las siguientes:

- Deben presentarse en forma de alimentos de consumo cotidiano.
- Su consumo no produce efectos nocivos.
- Cuenta con propiedades nutritivas y beneficiosas para el organismo.
- Disminuye y/o previene el riesgo de contraer enfermedades, además de mejorar el estado de salud del individuo.
- Deben poder demostrarse sus efectos beneficiosos dentro de las cantidades que normalmente se consumen en la dieta.

Los efectos de un alimento funcional se observan cuando el alimento se consume de forma habitual dentro de una dieta equilibrada. (***Heredia & Rosario, 2016***)

1. La idea de los alimentos funcionales fue desarrollada en Japón durante la década de los ochenta, en respuesta a una necesidad de reducir el alto coste que suponían los seguros de salud en una población cada vez mayor de edad. Japón es el único país que ha aprobado un proceso regulador específico para la aprobación de alimentos funcionales conocidos como FOSHU (foods for specified health use) o alimentos de uso específico para la salud. Actualmente, existen más de 100 productos con licencia FOSHU, los cuales llevan un sello de aprobación del Ministerio de Salud y Bienestar de ese país. (***Gimeno Creus et al, 2003***)



Figura 6. Alimentos funcionales naturales

4.6. Galletas

La galleta (del francés *galette*) es una preparación culinaria de pequeño tamaño, dulce o salada, horneada y hecha normalmente a base de harina de trigo, huevos, azúcar, mantequilla o aceites vegetales o grasas animales. Puede incluir más ingredientes como otros cereales, pasas, frutos secos, chocolate, saborizantes como la vainilla, el amaranto y el coco entre muchos otros. Pertenece a la repostería. En la actualidad existe una gran variedad de galletas que difieren entre sí tanto en sus ingredientes, como en su proceso de cocción y en los instrumentos de corte y moldeo utilizados.

Los ingredientes más habituales son la harina de trigo blando, azúcar, sal, huevos, mantequilla, lecitina, antiaglutinante, bicarbonato sódico y agua. Sin embargo, las galletas ultraprocesadas de origen industrial suelen llevar aceites vegetales en lugar

de huevos o mantequilla. La necesidad de alimentos nutritivos, fáciles de almacenar, fáciles de transportar, y de larga duración para los viajes largos, en particular para las travesías marítimas, se resolvió inicialmente mediante la adopción de alimento vivo, junto con un carnicero/cocinero. Sin embargo, esto ocupaba demasiado espacio en transportes de tracción animal o en barcos pequeños. Por ello, los primeros ejércitos recurrían a la caza y al forrajeo en sus desplazamientos.

(Mozombite, s. f.)



Figura 7. Galletas comerciales

4.7. Qué es el gluten

El gluten es una proteína que se encuentra en la semilla de muchos cereales como son el trigo, cebada, centeno, triticale, espelta, algunas variedades de avena, así como sus híbridos y derivados.

El grano de estos cereales no está compuesto únicamente por gluten, sino que existen otras partes como son el almidón, el germen o el salvado, que si se extraen mediante un proceso tecnológico y con un control exhaustivo se podrían emplear como ingredientes en alimentos sin gluten.

El gluten es el responsable de la elasticidad de la masa de harina y confiere la consistencia y esponjosidad de los panes y masas horneadas. Por este motivo es apreciado en alimentación, por su poder espesante.

Muchas personas son incapaces de digerir esta proteína por completo ya que tras la ingesta se generan fragmentos proteicos que activan el sistema inmunológico al detectar esos fragmentos como tóxicos, desencadenándose una reacción adversa. Esos fragmentos tóxicos se denominan prolaminas que a su vez se componen de gliadinas y gluteninas (trigo). Esos fragmentos se denominan con otro nombre dependiendo del tipo de cereal, aveninas en avena, hordeinas en cebada, secalinas en centeno. (**¿Qué Es el Gluten? | FACE, s. f.**)



Figura 8. Alimentos que contienen gluten

4.8. Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos químicos que interactúan con los radicales libres y los neutralizan, lo que les impide causar daño. Los antioxidantes se conocen también como "carroñeros de radicales libres".

El cuerpo produce algunos de los antioxidantes que usa para neutralizar los radicales libres. Estos antioxidantes se llaman antioxidantes endógenos. No obstante, el cuerpo depende de fuentes externas (exógenas), la dieta principalmente, para obtener el resto de los antioxidantes que necesita. Estos antioxidantes exógenos se llaman comúnmente antioxidantes alimenticios. Las frutas, las verduras y los cereales son fuentes ricas de antioxidantes alimenticios. Algunos antioxidantes alimenticios se encuentran disponibles también como complemento dietético. (*Diplock et al., 1998*) (*Jaouad Bouayed & Bohn, 2010*)

Lo que hacen los antioxidantes es frenar las reacciones de oxidación en las células a partir de las cuales se originan los nocivos radicales libres. Por tanto, su papel es clave en la reducción de enfermedades cardiovasculares, de tumores y de enfermedades neurodegenerativas. También actúan potenciando el sistema inmunológico.

Ejemplos de antioxidantes alimenticios son el betacaroteno, el licopeno y las vitaminas A, C y E (alfatocoferol). Se piensa con frecuencia que el elemento mineral selenio es un antioxidante alimenticio, pero los efectos antioxidantes del selenio se deben con más probabilidad a la actividad antioxidante de las proteínas en las que

el selenio es un compuesto esencial (es decir, proteínas que contienen selenio) y no del selenio mismo (**Davis et al., 2012**).



Imagen 9. Alimentos que contienen antioxidantes

4.9. Antioxidantes presentes en los alimentos.

Los alimentos, además de sus funciones plásticas y energéticas, tienen la facultad de proteger estructuras ante la formación de radicales libres. Este proceso, que constituye la oxidación celular que deriva de la aparición de estos radicales, va ligado tanto al envejecimiento fisiológico en general como a una serie de enfermedades (cardiovasculares, degenerativas, Alzheimer, Parkinson, así como

distintos tipos de cáncer). Los antioxidantes presentes en los alimentos pueden ayudar a prevenir algunos de estos procesos, pero también a paliar o enlentecer algunas de estas enfermedades.

Lo que hacen los antioxidantes es frenar las reacciones de oxidación en las células a partir de las cuales se originan los nocivos radicales libres. Por tanto, su papel es clave en la reducción de enfermedades cardiovasculares, de tumores y de enfermedades neurodegenerativas. También actúan potenciando el sistema inmunológico. (*Vilaplana, 2007*)



Figura 10. Antioxidantes presentes en algunos alimentos

4.10. Actividad antioxidante

Ambos componentes estructurales de las betalainas (una amina fen3lica y una c3clica) son buenos donadores de electrones, por lo que las betalainas tienen propiedades antioxidantes (**J. Agric. Food Chem. 2001**). Las actividades

antioxidantes y antirradicales de la betanina se han analizado y explicado en términos de la capacidad donadora de electrones, la energía

De disociación del enlace y el potencial de ionización de la molécula (**Gliszczyńska-Świgło et al., 2006**). Debido a la resonancia, el grupo amino secundario se conjuga con el grupo hidroxilo que participa en el equilibrio tautomérico ceto-enol del grupo formilo. La extracción de un electrón del oxígeno fenólico de las betacianinas es relativamente fácil y los radicales de betacianina formados se estabilizan mediante la deslocalización del electrón desapareado a través del anillo aromático. La conexión del sistema de resonancia electrónica característico de la betalaína con el anillo aromático aumenta la capacidad antioxidante equivalente Trolox (TEAC) de las betalaínas en 0,4 mol/mol de betalaína (**Schliemann et al., 2001**).

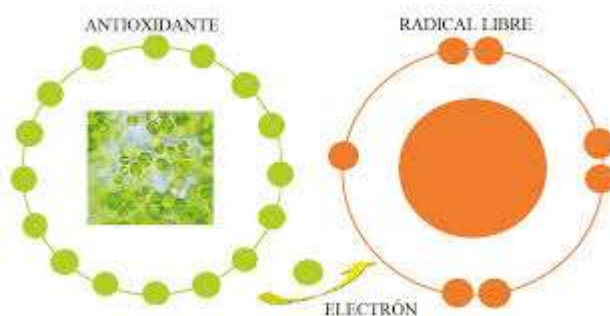


Figura 11. Relación antioxidante y radical libre

Se cree que los nutrientes antioxidantes de frutas y verduras son una clase de compuestos que ejercen sus efectos en los seres humanos al prevenir los procesos oxidativos que contribuyen a la aparición de varias enfermedades degenerativas. Este estudio encontró una nueva clase de antioxidantes cationizados dietéticos en la remolacha roja (*Beta vulgaris L.*). (**J. Agric. Food Chem. 2001**)

4.11. Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas complejas, biológicamente activas y con diversa estructura molecular, que son necesarias para el hombre en pequeñas cantidades: los llamados micronutrientes. La mayoría de las vitaminas, con excepción de la D, K, B1, B2 y el ácido fólico, no son sintetizadas por el organismo, y si lo hacen, las cantidades son insuficientes; por tanto, es necesario su aporte externo. En el presente trabajo se abordan las características de las vitaminas y el papel que desempeñan en la salud humana.

Cada una de las vitaminas ejerce una función que es única e insustituible en los procesos metabólicos del organismo. Si una de ellas falta, todo el organismo se resiente. Cuando la dieta sea deficitaria de forma regular o cuando se coma menos de lo recomendable, cabe la posibilidad de que el aporte vitamínico sea insuficiente y puedan producirse enfermedades carenciales que sólo se curarán cuando se consuma de nuevo la vitamina implicada. Así, en los países en vías de desarrollo

las deficiencias vitamínicas siguen siendo un importante problema de salud. (Pérez Ríos et. al, 2004).



Figura 12. Clasificación de las fuentes vitamínicas y en que alimentos se encuentran.

4.12. Fibra

La fibra dietética (FD) es un grupo de sustancias de origen vegetal, un conjunto muy heterogéneo de moléculas complejas. Todas ellas tienen una serie de características en común:

- Son inatacables por fermentos y enzimas digestivos.
- Son parcialmente atacables por las bacterias del colon.
- Son sustancias osmóticamente activas.

4.12.1. Propiedades

Las principales propiedades de la fibra dietética son las siguientes:

- Resistencia a la digestión.
- Capacidad de absorber y retener agua. Las fibras insolubles en contacto con el agua tienen un aspecto fibroso porque captan poca agua. Las fibras solubles son gelificantes, porque atrapan mucha agua en su estructura.
- Esta distinción entre soluble e insoluble es la que va a condicionar su actividad terapéutica.

4.12.2. Aspectos nutricionales

Las últimas recomendaciones respecto al consumo de FD aconsejan una ingesta de entre 30 y 40 g al día. Las recomendaciones sobre la ingesta de fibra en la infancia oscilan en un margen de la edad + 5 o + 10 g/día. Así, por ejemplo, habrá que sumar 5 a un niño de 3 años para que la ingesta diaria de fibra se sitúe aproximadamente sobre los 8 g. Con ello conseguiremos prevenir el estreñimiento y disminuir la incidencia de futuras enfermedades crónicas. (Vilaplana, 2001)

Un consumo adecuado de fibra dietética se ha relacionado con: la regulación del tránsito intestinal, una mayor salud del microbiota intestinal, contribución a regular los niveles de colesterol en sangre, prevención de algunos cánceres como el de colon, mejores niveles de glucemia (prevención de Diabetes Mellitus tipo II), aumento de la saciedad y mejor control de un peso adecuado. (***Fibra Dietética / Sociedad Española de Dietética Y Ciencias de La Alimentación (S.E.D.C.A.), 2019***)



Figura 13. Alimentos ricos en fibra alimentaria

4.13. Minerales

Los minerales son nutrientes indispensables para diferentes funciones del organismo como la formación de huesos y células sanguíneas, desarrollo del sistema nervioso, producción de hormonas y actividad de los órganos.

A diferencia de otros nutrientes, como los carbohidratos, grasas o proteínas, el cuerpo necesita algunos minerales en poca cantidad y, si no se consumen, es

posible que se pueda desarrollar alguna enfermedad como consecuencia de la deficiencia o ausencia de ellos.

Los minerales son clasificados como macrominerales y microminerales, de acuerdo a la cantidad que debe de ser ingerida por persona. El cuerpo necesita una mayor cantidad de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cloro y azufre, que son considerados macrominerales. (Secretaría de Salud, 2024)

Los principales minerales en el cuerpo humano son: calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, azufre, magnesio, manganeso, hierro, yodo, flúor, zinc, cobalto y selenio. El fósforo se encuentra tan ampliamente en las plantas, que una carencia de este elemento quizá no se presente en ninguna dieta. El potasio, el sodio y el cloro se absorben con facilidad y fisiológicamente son más importantes que el fósforo. Los seres humanos consumen azufre sobre todo en forma de aminoácidos que contienen azufre; por lo tanto, cuando hay carencia de azufre, se relaciona con carencia de proteína. No se considera común la carencia de cobre, manganeso y magnesio. Los minerales de mayor importancia en la nutrición humana son: calcio, hierro, yodo, flúor y zinc, y únicamente éstos se tratan en detalle aquí. Algunos elementos minerales son necesarios en cantidades muy pequeñas en las dietas humanas, pero son vitales para fines metabólicos; se denominan «elementos traza esenciales». (**Capítulo 10: Minerales, s. f.**)



Figura 14. Ejemplo de minerales en los alimentos

5. Metodología

Los procedimientos experimentales se llevaron a cabo dentro del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, así como también en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

5.1. Selección y análisis de materia prima.

Se obtuvo la materia prima (*Beta vulgaris*) en uno de los supermercados más conocidos (HEB), ya que en dicho lugar se encuentran productos de una mejor calidad, posteriormente a esto se llevó la materia prima al laboratorio ubicado en la facultad de ciencias químicas de la UA de C donde se cuenta con todo el instrumental necesario.

5.1.1. Procesamiento de materia prima

El betabel (*Beta Vulgaris*) se pesó en una báscula digital, posteriormente se sometió a un lavado y pelado, al término del pelado se pesaron los desechos (rabos y la cascara), esto por separado. Se tomaron tres muestras de los desechos para medir la aw del vegetal. A continuación, se comenzó el picado que consiste en rebanar en rodajas todo el betabel, para esto se utilizó una picadora de verduras con cuchillas de acero inoxidable.

5.1.2. Deshidratación de materia prima

Se colocaron las rebanadas en rejillas de metal de manera que toda quedara cubierta, cuidando que no se acumularan tanto, se colocaron las rejillas dentro del deshidratador que se dejó a una temperatura de 55° C por un lapso de 17 h.



Figura 15. Rebanadas de betabel puestas en las rejillas

5.1.3. Obtención de harina de betabel

Pasadas las 17 horas se sacaron para poder moler las rebanadas ya deshidratadas en un molino de granos eléctrico, obteniendo de esta manera la harina de betabel. Por último, dicha harina se vació en una bolsa del tipo ziploc para su conservación hasta su uso.



Figura 16. Molino de granos eléctrico

5.2. Desarrollo de distintas formulaciones.

Para esto se tomó como referencia una receta de galletas normal, añadiendo ingredientes que se utilizan y excluyendo los que no.

5.2.1. Establecer porcentajes

Después de la formulación de la receta a utilizar se comenzó a sacar el porcentaje de harina que debe de llevar cada formulación, se obtuvieron 5 formulaciones T1(100% harina de trigo), T2(90% harina de trigo y 10% harina de maguey), F1(5% harina de betabel, 85% harina de trigo y 10% harina de maguey), F2(10% harina de betabel, 80% harina de trigo y 10% harina de maguey), F3(15% harina de betabel, 75% harina de trigo y 10% harina de maguey),

5.2.2. Fijación de ingredientes no variables

posterior a esto se fijaron las porciones de los ingredientes que no varían, que son el azúcar (15gr), miel (42gr), margarina (50 ml), polvo para hornear (2.75 gr) y claras de huevo (25gr).

5.3. Desarrollo del producto.

5.3.1. Obtención de utensilios

En esta etapa contamos con todos y cada uno de los materiales a utilizar como recipientes de plástico, cuchara de madera, cuchara pequeña de plástico.

5.3.2. Porcionar ingredientes

Se obtienen 5 recipientes para cada una de las formulaciones, primero se pesaron las tres harinas a utilizar (trigo, betabel y agave) en las porciones establecidas para cada formulación.

5.3.3. Mezcla y amasado

Pasamos a pesar azúcar ABC, polvo para hornear, miel y agregamos a cada formulación para esto se utilizó una báscula digital. Tomamos la margarina y la colocamos en una cacerola a fuego medio para derretir, ya derretida retiramos del fuego y esperamos un minuto mientras dejamos que se enfríe un poco para medir 50 ml de margarina para cada formulación, esto utilizando una probeta con una capacidad de 200 ml.

Agregados todos los ingredientes comenzamos a mezclar con una cuchara de acero inoxidable, esto con el propósito de evitar que se pueda tener partículas extrañas en la mezcla. Terminada la mezcla se toma y se coloca en papel encerado para amasar y extender con un rodillo de madera, dejando una capa de masa de aproximadamente 0.5 cm de grosor.

5.3.4. Horneado y almacenamiento

Cortamos la masa con un cortador de galletas de acero inoxidable y colocamos en charolas de aluminio con papel encerado para evitar que las galletas se peguen en la charola. Se identificaron las charolas con cada una de las formulaciones y se colocaron dentro de un horno de convección HCX PLUS3 de dos puertas a una temperatura de 140°C por 18 minutos. Pasado el tiempo de horneado sacamos las charolas, dejamos enfriar por 5 minutos aproximadamente; posteriormente colocamos en bolsas ziploc identificadas con cada formulación para poder almacenarlas.

5.4. Análisis de las galletas

5.4.1. Obtención del peso de las galletas

Sacamos las galletas ya almacenadas y comenzamos a pesar en orden por formulación, hasta tener el peso de todas las formulaciones.

5.4.2. Deshidratación de galletas

Al término de este proceso pasamos las galletas a unas rejillas, cada una identificada con cada formulación para evitar confusiones; colocadas todas las

galletas en las rejillas pasamos a ponerlas en un deshidratador Colzer de acero inoxidable a una temperatura de 55°C por un tiempo de 17 h.

5.4.3. Pesar galletas deshidratadas y análisis de textura

Pasado el tiempo de deshidratado sacamos las galletas y procedemos a pesarlas de nuevo para ver cuánto peso perdieron después de la deshidratación; después utilizamos un probador de dureza Extech FHT200 para analizar la textura de las galletas, esto se hizo con tres muestras de cada formulación donde se obtuvo un rango de 0.40 - 0.60N.



Figura 17. probador de dureza Extech FHT200

5.4.4. Evaluación de colorimetría

Se realizó por triplicado la evaluación de color en las galletas obtenidas. Se seleccionó el área de medición.

Para la medición se utilizó un colorímetro manual (PCE-CSM 2), centrado el dispositivo de manera uniforme sobre la superficie de lectura. Se registraron los valores L^* , a^* , b^* , H y C. Realizando 3 repeticiones sobre la muestra.

Siendo cada uno de los valores lo siguiente:

- L^* = Luminosidad
- a^* = Tendencia a color Rojo
- b^* = Tendencia a color Amarillo



Figura 18. colorímetro manual (PCE-CSM 2)

5.4.5. Molienda de galletas

Al término de estos dos análisis pasamos a moler las galletas con ayuda de un molino de granos eléctrico (figura 16) para obtener una harina y de esta manera realizar lo siguiente.

5.4.6. Análisis bromatológico

Se realizaron los análisis bromatológicos de harina de *Beta Vulgaris*, *Agave Salmiana* y galletas obtenidas mediante las técnicas oficiales de la OAC de 1980.

5.4.6.1. Determinación de Grasa

Se colocaron los matraces bola de fondo plano con tres perlas de vidrio en la estufa durante 12 h para tenerlos a peso constante, se pesaron 4 gr de muestra molida en papel filtro doblándolo bien cuidando que la muestra no se salga y se colocó en un dedal de celulosa. Con las pinzas sacamos con cuidado un matraz bola de fondo plano colocándolo en el desecador durante 10 minutos dejamos que se enfríe y pesamos en una balanza analítica. Posteriormente agregamos 200 ml de hexano en el matraz y colocamos el dedal en el sifón soxhlet, mientras que el matraz al refrigerante, encendimos la parrilla y dejamos sifoneando por 8 h. pasado el tiempo retiramos el dedal del sifón, recuperamos el solvente y dejamos el matraz con grasa en la estufa por 12 h. sacamos el matraz de la estufa y lo colocamos en el desecador para que se enfríe durante 15 min y pesar el matraz con grasa.

CALCULOS

$$\%GRASA = \frac{\text{Peso del matraz} + \text{Grasa} - \text{Peso del matraz vacie}}{\text{gr de muestra}} \times 100$$

Para ajustar su %EE en base a materia seca total se divide entre %MST y se multiplica X100.



Figura 19. Equipo de extracción y determinación de grasa

5.4.6.2. Materia seca total y Humedad

La materia seca total se obtiene mediante la evaporación total de la humedad a una temperatura que varía entre 100- 105 °C.

Identificamos la muestra y la colocamos en un frasco de vidrio, colocamos los crisoles en la estufa a 100 -105 °C durante 12 h para que estén a peso constante, con las pinzas los sacamos y colocamos con cuidado en el desecador durante 10 min para dejarlos enfriar y pesarlos posteriormente. Pesamos dos gramos de muestra y los colocamos en el crisol, colocamos los crisoles en la estufa durante 12 h. sacamos los crisoles de la estufa y dejamos enfriar por 15 minutos en el desecador para posteriormente pesarlos.

CALCULOS

$$\%MST = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Muestra Seca} - \text{Peso del crisol vacío} \times 100}{\text{Gramos de muestra}}$$

$$\%H = 100 - \%MST$$

$$H=100 - MST$$

5.4.6.3. Determinación de Fibra cruda

Se pesan 2 gr de muestra desengrasada, la colocamos en un vaso Berzellius y agregamos 100 ml de ácido sulfúrico a 0.255 N, encendemos la parrilla a 180-190 °C y colocamos el vaso con muestra, esperamos que comience a hervir y a partir de ahí tomamos el tiempo de 30 min. Calentamos agua destilada, colocamos el filtro sobre el embudo y filtramos la muestra pasados los 30 minutos, lavamos con agua caliente y con una espátula vaciamos la muestra filtrada en el vaso, agregamos 100 ml de hidróxido de sodio a 0.313 N, dejamos que hierva y a partir de ahí tomamos el tiempo de 30 min otra vez, retiramos la muestra, filtramos y lavamos con agua caliente. Sacamos el crisol de la estufa y con una espátula colocamos la muestra previamente filtrada en el crisol, dejamos el crisol con la muestra en la estufa por 12 h. sacamos el crisol de la estufa, dejamos enfriar por 10 min en el desecador y pesamos pasado el tiempo, colocamos el crisol en la mufla a 600 °C por 2 h, sacamos y colocamos en el desecador los crisoles y dejamos enfriar por 15 minutos para pesar.

CALCULOS:

$$\%F.C = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{muestra seca} - \text{peso de crisol.} + \text{cenizas} \times 100}{\text{Gramos de nuestra desengrasada}}$$

5.4.6.4 determinaciones de nitrógeno y Proteína cruda

Conectamos y encendemos en equipo de destilación micro-Kjeldahl y llevamos a temperatura entre el 5 y 7. Encendemos la bomba de agua fría y abrimos la válvula que se encuentra cerca del bulbo, lo que nos indicará que al llenarse el bulbo el agua habrá llegado a la temperatura adecuada. Colocamos 30 ml de ácido bórico al 2.2% en un vaso de precipitados de 100 ml y añadimos dos gotas de indicador mixto, ubicamos el vaso de precipitados justo en la base de salida del equipo de destilación, vertimos sobre la copa del equipo la muestra digerida de color verde menta y abrimos la llave de ingreso de la muestra. Lavamos con unas gotas de agua destilada la copa y cerramos la llave. Posteriormente introducimos un volumen equivalente al de la copa, de hidróxido de sodio al 50%, una vez adicionado abrimos la llave de ingreso para dejarlo caer poco a poco, dejamos pasar un tiempo en el que se llevara a cabo la reacción en la coloración verde de la reacción hasta obtener un destilado, hasta llegar a 60 ml en el vaso del destilado. Al terminar la reacción se retira el vaso de destilado, retiramos también la manguera del desagüe y la colocamos en una tina, abrimos la válvula que se encuentra dentro del bulbo para desalojar el resto del destilado que queda en el bulbo interior hasta que se vacíe.

Se hacen tres lavados agregando agua destilada en la parte superior del aparato donde se agregó la muestra y finalmente reincorporamos la manguera del desagüe al contenedor de agua fría.

$$\%N = \frac{(ml \text{ gastados} - 0.3) \times (0.014) \times (0.023866)}{gr \text{ de muestra}} \times 100$$

$$\%PROTEÍNA = \%N \times (6.25)$$



Figura 20. Equipo de determinación de proteína micro-kjeldahl

5.4.6.5. Determinación de cenizas

Las cenizas no contienen Carbono y están formadas por diversas Substancias minerales. La porción incombustible (cenizas) se determina quemando la porción Combustible mediante una elevada temperatura (calcinación) que puede ser de 500-600 C°.

Se colocan los crisoles con las muestras secas en la parrilla de calentamiento para Pre incinerar dentro de una campana de extractor de gases hasta que se termine de quemar. Posteriormente llevamos los crisoles con las muestras quemadas a la mufla y dejamos durante 2 h a 600°C. Sacamos los crisoles de la mufla y colocamos en el desecador por 15 minutos para dejar enfriar y pesar.

CALCULOS:

$$\%C = \frac{(ml \text{ de ácido gastados} - ml \text{ de ácido gastado en el blanco}) \times 0.014 \times \text{normalidad del ácido}}{gr \text{ de muestra}} \times 100$$

- N= Normalidad del ácido sulfúrico
- 0.014= miliequivalente de Nitrogeno
- 1 eg. de Nitrógeno pesa 14 g/eq= 14/1000- miliequivalente.
- $\%PC = \%N \times 6.25$
- El 6:25 resulta de dividir 100 entre 16 que es el porcentaje de Nitrógeno que tienen algunos alimentos

CALCULOS

$$\% C = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Cenizas} - \text{Peso crisol (S010)} \times 100}{gr \text{ de muestra}}$$



Figura 21. Mufla

5.4.7. Extracción de compuestos bioactivos

Las extracciones se realizaron de acuerdo a lo reportado por Puente-Garza et al., (2017) con algunas modificaciones. Se pesaron 100 mg de muestra de cada tratamiento en 1 mL de metanol-agua (80:20 v/v). Se mezcló en vortex por 1 minuto y se llevó a ultrasonido por 20 minutos. Posteriormente se dejó sedimentar y el sobrenadante se usó para hacer las evaluaciones.

5.4.7.1. Polifenoles hidrolizables

El contenido de polifenoles se determinó por el método espectrofotométrico con el reactivo Folin- Ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich®) en donde se colocaron 20 µL de la muestra en un pozo de microplaca, posteriormente se agregaron 20 µL del reactivo Folin-Ciocalteu y se mezclaron, dejándolos reaccionar por 5 min. Transcurrido el tiempo, se agregaron 20 µL de carbonato de sodio (0.01M) (Jalmek®) y se mezclaron, dejando reposar la reacción por 5 minutos más. Finalmente, la solución fue diluida con 125 µL de agua destilada. La absorbancia se leyó a 790 nm en un lector de microplacas. La concentración de las muestras se determinó con una curva estándar de Ácido Gálico de 0-1000 ppm y se expresaron en equivalentes de Acido Gálico (EAG/g).

5.4.7.2. Azúcares totales

Los azúcares totales se identificaron mediante la técnica de Fenol-Sulfúrico (Dubois, 1965). Se coloca una muestra de 100 mg (de cada tratamiento) en tubos, se agregan 5 mL de HCl 2.5 N y se somete a hidrólisis en un baño de agua hirviendo durante 3 h.

Después de la hidrólisis, los tubos de ensayo se dejan enfriar y la solución se neutraliza con carbonato de sodio. Luego la muestra se centrifuga a 3000 rpm durante 10 min. Se preparan diluciones de las muestras, luego se toman alícuotas de 100 µL de la muestra y se agregaron 100 µL de reactivo Fenol al 5% y 500 µL de ácido sulfúrico concentrado. Se lleva a lectura a una absorbancia de 490 nm. Se utiliza glucosa para la curva de calibración y agua destilada como blanco.

5.4.8. Actividades antioxidantes

5.4.8.1. DPPH

La solución del radical 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich®) se preparó a 60 μM con metanol. Se colocó en microplaca 7 μL de muestra con 193 μL de la solución metanólica de DPPH y se dejó reaccionar en oscuridad por 30 minutos. Después se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm. Se usó un blanco de lectura con metanol y como absorbancia control DPPH-metanol. Los datos se expresaron en equivalentes de Trolox con ayuda de una curva estándar de Trolox de 0-1000 ppm.

5.4.8.2. FRAP

El ensayo de FRAP se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por Larios-Cruz et al., (2017) (doi:10.1007/s12649-017-0156-y). Para ello se colocaron 10 μL de muestra en una microplaca de 96 pocillos con 290 μL de reactivo de reacción FRAP recién preparado. Este método se basa en la reducción del complejo férrico de 2,4,6-tripiridil-s-triazina (Fe^{3+} -TPTZ) a la forma ferrosa (Fe^{2+} -TPTZ). El reactivo férrico de FRAP se preparó mezclando TPTZ férrico 10 mM en HCl 40 mM, FeCl_3 20 mM y tampón acetato 0,3 M (pH 3,6) en proporciones de 1:1:10 (Fe^{3+} -TPTZ: FeCl_3 :tampón acetato v/v/v). Las muestras se incubaron a 37°C durante 15 min. LA absorbancia se midió a 593 nm y como blanco se utilizó agua destilada. Los datos se expresaron en equivalentes de Trolox con ayuda de una curva estándar de Trolox de 0-1000 ppm.

5.4.9. Evaluación sensorial.

Para dar comienzo con esta etapa se tuvo que repetir todo el procedimiento de horneado descrito en la etapa 3, después de tener las galletas listas procedemos a reclutar a 30 panelistas, los cuales van a evaluar las galletas, en cuanto a los siguientes atributos: sabor, olor, color, textura y apariencia.

5.4.9.1. Preparación de muestras

Pasamos a preparar las muestras, colocamos en una charola de plástico una galleta de cada formulación (T1, T2, F1, F2 y F3), cada una cuenta con un código que nos ayudara a identificarlas, además de que se proporcionó una hoja de evaluación donde los panelistas evaluaron la muestra a una escala hedónica de 5 puntos donde el punto 1- me disgusta mucho, 2- me disgusta moderadamente, 3- no me gusta ni me disgusta, 4- me gusta moderadamente, 5- me gusta mucho.

5.4.9.2. Evaluación de las muestras

Se colocó la charola y la hoja de evaluación frente a los panelistas para que comenzaran a evaluar, al término de su evaluación hicieron entrega de la hoja. se recopiló la información obtenida pasándola a Excel para graficar y analizar los resultados obtenidos.

6. Resultados y discusión

Los resultados que se presentan en la investigación se realizaron en departamento de ciencia y tecnología de alimentos de la universidad y en el laboratorio de la facultad de ciencias químicas de la U A de C.

En la elaboración de las galletas se obtuvieron los siguientes resultados

6.1. Selección y análisis de materia prima.

En este proceso se procuró la selección de la materia prima de forma cuidadosa, de tal manera que se obtuvo una buena materia prima como se muestra en la figura (), color rojizo intenso y de buen tamaño.



Figura 22. betabel limpio y pelado



Figura 23. Rodajas de betabel

6.1.2. Procesamiento de materia prima

Al realizar la limpieza y cortes deseados a la materia prima, realizamos un análisis por triplicado de la materia prima

Podemos observar que la variación de la Actividad de Agua (aw) entre las tres muestras no varía demasiado, en cambio podemos ver que en una de las muestras la temperatura tiene una gran diferencia respecto a dos de las otras muestras.

Tabla 1. Relación entre la aw y la temperatura de las muestras

MUESTRA	AW	TEMPERATURA
1	1,060	26.1
2	1,021	26.8
3	1,056	18.4

Tabla 2. Pesos de los residuos de la materia prima

	PESO (gr)
CASCARA	208
RABOS	428
TOTAL	638

6.1.3. Deshidratación de materia prima

Después del tiempo en la deshidratadora a 55°C obtuvimos rebanadas de *beta vulgaris* totalmente deshidratadas listas para molerlas, podemos observar que al haberlas deshidratado estas siguen conservando su color característico.



Figura 24 rodajas de betabel sin deshidratar



Figura 25. Rodajas de betabel deshidratadas

6.1.4. Obtención de harina de betabel

Para este proceso se utilizó un molino de granos eléctricos por lo que se obtuvo una harina de color rosado, muy fina y sin grumos. Para mantenerla igual la conservamos en frascos de vidrio evitando la humedad.



Figuras 26 y 27. Betabel deshidratado antes y después de moler

6.2. Desarrollo de distintas formulaciones.

6.2.1. Establecer porcentajes

Para este procedimiento se tomó en cuenta una receta de galletas ya existente, de tal manera que obtuvimos mediante los ingredientes seleccionados a utilizar los siguientes porcentajes por cada formulación.

Los porcentajes destinados a cada formulación se dividieron de tal manera que logramos identificar la diferencia de nutrientes que estas proporcionan según el porcentaje de harina de trigo, betabel y agave que cada uno tenga.

Tabla 3. *Porcentaje de harinas para cada formulación*

Formulaciones	H. Trigo (gr)	H. Betabel (gr)	H. Agave(gr)
T1	100%	0	0
T2	90	0	10%
F1	85%	5%	10%
F2	80%	10%	10%
F3	75%	15%	10%

6.2.2. Fijación de ingredientes no variables

El objetivo de los ingredientes fijos en la formulación de estas galletas es que se visualice como las harinas repercuten en los nutrientes aun y cuando todos tienen los mismos ingredientes en las mismas cantidades, excepto las harinas que son las únicas que varían como podemos observar en las tablas.

Tabla 4. Cantidad de harina de agave fijo para las formulaciones adicionadas

Formulaciones	H. Trigo (gr)	H. Betabel (gr)	H. Agave(gr)
T1	125	0	0
T2	112.5	0	12.5
F1	106.25	6.25	12.5
F2	100	12.5	12.5
F3	93.75	18.75	12.5

Tabla 5. Ingredientes fijos e iguales para todas las formulaciones

INGREDIENTES	CANTIDAD (ml/gr)
Azúcar ABC	15 gr
Miel	42 gr
Margarina	50 ml
Polvo para hornear	2.75 gr

6.3. Desarrollo del producto.

6.3.1. Obtención de utensilios

Los utensilios utilizados fueron proporcionados y obtenidos en el laboratorio de la facultad de ciencias químicas de la Ua de C.

6.3.2. Porcionar ingredientes

En distintos recipientes colocamos cada uno de los ingredientes establecidos para cada una de las formulaciones que desarrollamos. Medimos con una probeta y pesamos cada ingrediente con una báscula digital.



Figura 28. Harinas punctionadas para cada formulación

6.3.3. Mezcla y amasado

Mezclamos los ingredientes de cada una de las formulaciones en cada recipiente y amasamos obteniendo así cinco masas distintas. Tomamos cada masa y la extendimos con un rodillo dejando una capa de masa de aproximadamente 0.5 cm.

Podemos observar en las imágenes cada masa es de un color y consistencia distinta debido a que los porcentajes de harina de trigo y betabel varían.



Figura 29. Masa de harina de trigo y masa adicionada con 10% de harina de agave



Masa al 5%



Masa al 10%

Masa al 15%

Figuras 30 -31. Masas con distintos porcentajes de harina de betabel

6.3.4. Horneado y almacenamiento

Cortamos la masa con un cortador de galletas de acero inoxidable teniendo así unas galletas de forma circular. Cada charola se identificó según la formulación que es y se metió al horno por 18 min a una temperatura de 140°C.

Al tener las galletas horneadas ya frías pudimos observar que cada una tenía una textura diferente, las galletas que contienen solo harina de trigo son totalmente crujientes y su grosor aumento, mientras que las que contienen harina de trigo y agave son crujientes también pero no aumento su grosor.



Figura 32. *Galletas con harina de trigo al 100%*



Figura 33. *Galletas con harina de agave al 10%*

En cambio, las galletas que contienen harina de betabel son muy diferentes entre sí, podemos observar que su color, textura y sabor son muy distintos a pesar de que tienen los mismos ingredientes. Las galletas con el 5% de harina de betabel son crujientes, tiene un sabor a betabel no muy fuerte y color rosa, las galletas con el 10% son menos crujientes con un sabor más intenso y un color más rojizo, en la que podemos observar un gran cambio es en la que contiene un 15 % de harina de betabel pues estas presentaron un color rojo intenso, incluso su sabor puede llegar a sentirse un poco terroso y más dulce, son suaves a comparación de las otras galletas. Cada galleta se identificó y se guardó en bolsas de tipo ziploc para evitar que tuvieran humedad y conservar sus características.



Figura 34. Galletas con harina de betabel al 5%, 10% y 15%

6.4. Análisis de las galletas

6.4.1. Obtención del peso de las galletas

Pesamos las galletas de cada formulación en una balanza digital y registramos sus pesos en una tabla y pudimos observar que su peso si varía entre las distintas formulaciones.

Tabla 5. Peso de las galletas sin deshidratar

<i>Muestras</i>	<i>Sin deshidratar (gr)</i>
<i>T1</i>	52
<i>T2</i>	139
<i>F1</i>	118
<i>F2</i>	148
<i>F3</i>	138

6.4.2. Deshidratación de galletas

Para este proceso dejamos las galletas por 17 h en el deshidratador a 55°, ya deshidratadas pesamos en la balanza digital y registramos los pesos.

Tabla 6. *Peso de las galletas sin deshidratar a comparación del peso de las galletas deshidratadas*

<i>Muestras</i>	<i>Sin deshidratar (gr)</i>	<i>Deshidratadas (gr)</i>
<i>T1</i>	52	48
<i>T2</i>	139	136
<i>F1</i>	118	108
<i>F2</i>	148	134
<i>F3</i>	138	118

Al observar y analizar los datos registrados en la tabla podemos decir que las galletas que contenían más humedad eran las de 15% de harina de betabel ya que la diferencia es de 20 gr entre la galleta no deshidratada y la deshidratada, mientras que la que menos humedad contenía fue la de harina de trigo y agave, teniendo una diferencia de solo 3 gr.

6.4.3. Análisis de textura

Se realizó un análisis por triplicado de cada formulación de galletas.

Tabla 7. Análisis de textura por triplicado de cada formulación

TEXTURA			
T1	0.45	0.40	0.45
T2	0.40	0.40	0.40
F1	0.40	0.45	0.45
F2	0.45	0.50	0.45
F3	0.60	0.45	0.40

En la tabla 7 podemos observar que la textura de todas las formulaciones varía entre sí solo 5 puntos. Sin embargo, podemos ver que en las galletas de la formulación 3 que es la que contiene un 15% de harina de betabel, varía en sus tres muestras, mientras que en las otras solo varían dos.

6.4.5. Evaluación de colorimetría

Se realizó por triplicado la evaluación de color en las galletas obtenidas. Se seleccionó el área de medición. Registramos los valores L*, a*, b*, H y C. Realizando 3 repeticiones sobre la muestra los parámetros obtenidos se muestran en la figura 35 y 36.

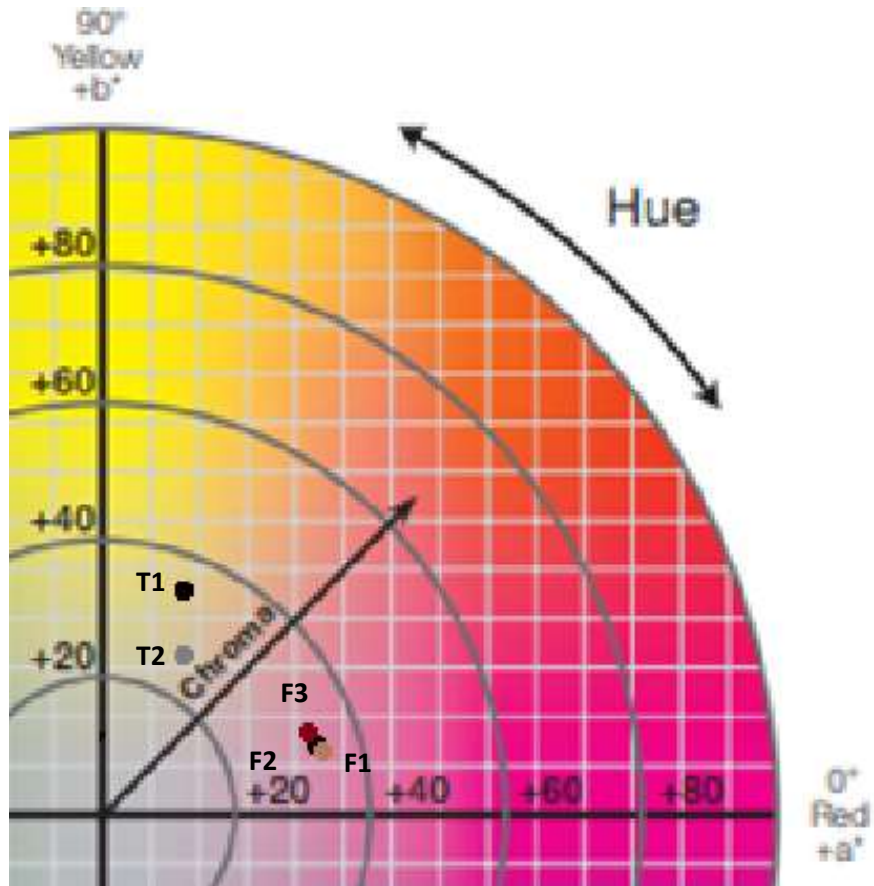


Figura 35. Grafica CIELab con los puntos de color de cada formulación

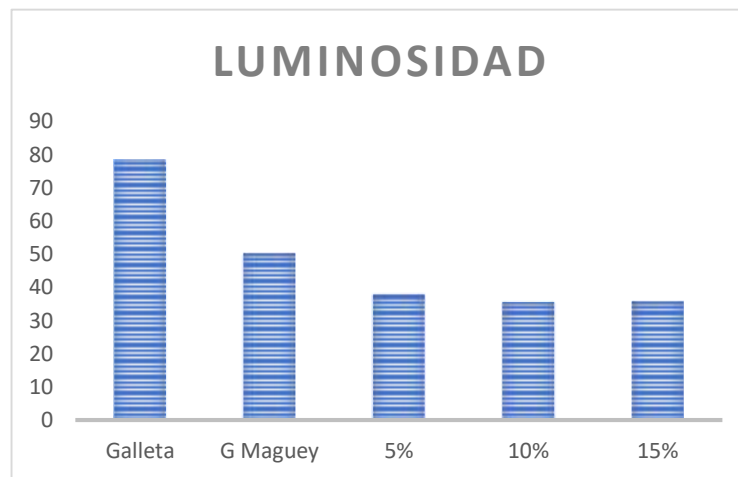


Figura 36. Relación de la luminosidad de las formulaciones

Como vemos en ambas figuras las primeras dos formulaciones tienen sus parámetros a en 12 y sin embargo el punto b varía, lo cual es esperado ya que una está hecha con solo harina de trigo y la otra es una combinación de harina de trigo y agave, podemos apreciar esto en la figura 35 donde observamos que sus colores son un poco parecidos entre un amarillo y un verde opaco.

En las galletas de harina de betabel podemos ver que tanto el punto *a como el punto *b no tienen gran variación, sin embargo, podemos notar que en la formulación con 10% de harina hay más variación en cuanto a las formulaciones con 5 y 15 % de harina de betabel, sin embargo todas se encuentran en la misma coloración.

6.4.4. Molienda de galletas

Terminando los análisis anteriores utilizamos un molino de granos eléctrico para moler las galletas de tal manera que obtuvimos cinco distintas harinas. Se colocaron en frascos de vidrio evitando que estas agarren humedad.



Figura 37. Harina obtenida de galletas molidas

En la figura 37 podemos observar como cada harina presenta un color distinto debido a los porcentajes de harina presentes en ellas, el T1 tiene un color amarillo característico, el T2 presenta un color más café debido a la presencia de harina de agave, mientras que las últimas tres formulaciones van aumentando el color rojo según el porcentaje de harina de betabel que contienen.

6.4.6. Análisis bromatológico

Para poder obtener una galleta con las características deseadas se realizaron los siguientes análisis bromatológicos a las galletas y las harinas de *Beta vulgaris* y *Agave salmiana*.

6.4.6.1. Determinación de grasa

Se evaluaron las formulaciones de galletas adicionadas con harina de betabel y agave. En la figura podemos observar como el porcentaje de grasa disminuye a una mayor concentración de harina de betabel, en la galleta con un 15 % de harina de betabel el porcentaje de grasa es de 7.2%, mientras que en la galleta con solo harina de trigo y de trigo con agave hay un mayor porcentaje de grasa con un 17 % y 18.6% respectivamente.

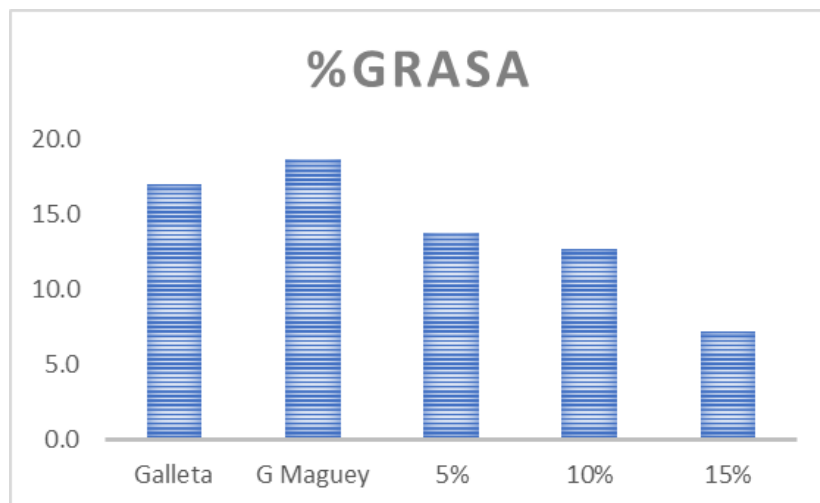


Figura 38. Determinación de grasa

6.4.6.2. Determinación de Materia seca total

En la determinación de MST de las galletas representada en la figura podemos observar que hay una variación entre cada muestra, las galletas con harina de agave y la galleta con el 10% de harina de betabel presentan un porcentaje de MST arriba del 96% mientras que las galletas de harina de trigo, 5% y 15 % de harina de betabel presentan un % superior al 95 e inferior al 96 % de MST.

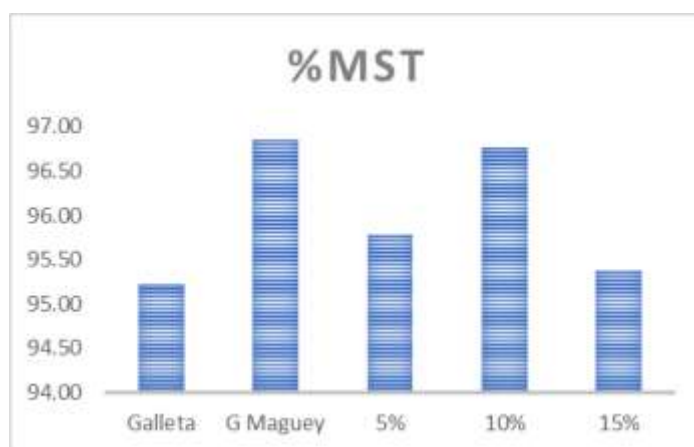


Figura 39. Determinación de materia seca total

6.4.6.3. Determinación de Fibra cruda

Otro aspecto para evaluar de las galletas es el % de fibra cruda que estos contienen después de adicionarlas con las distintas harinas. Podemos apreciar en la figura los resultados en esta determinación de fibra cruda. A simple vista observamos que la que contiene un mayor porcentaje de fibra es la galleta normal que no fue adicionada, mientras que en las galletas que si fueron adicionadas podemos notar que entre mayor porcentaje de harina de betabel hay un mayor porcentaje de fibra cruda presente. La galleta que presenta un mínimo porcentaje de fibra cruda es la galleta adicionada solo con harina de agave con un 0.16%.

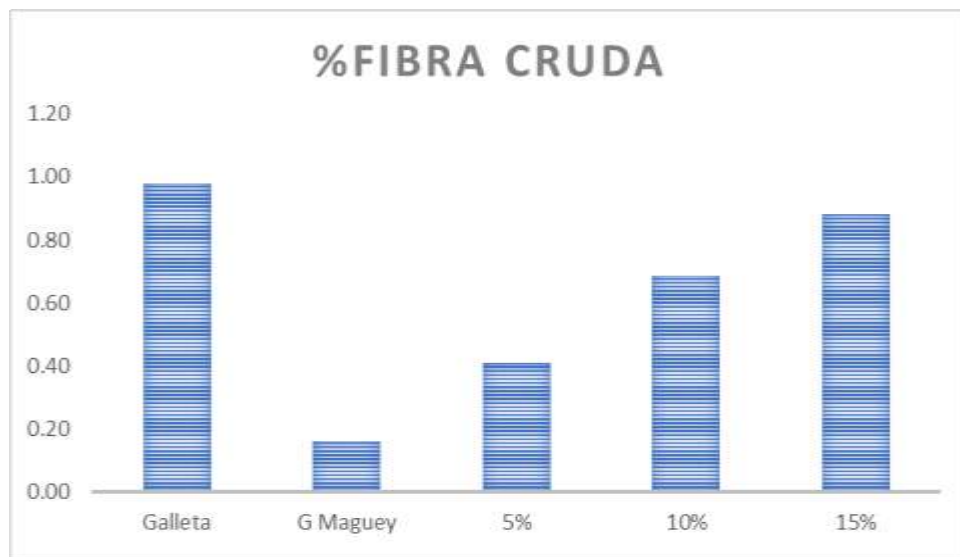


Figura 40. *Determinación de Fibra cruda*

6.4.6.4. Proteína cruda o bruta

En la evaluación de proteína cruda para las formulaciones de galletas obtuvimos los resultados graficados en la figura. Podemos observar a simple vista que existe una diferencia entre las galletas que no contienen harina de betabel, la galleta con harina de trigo presenta un 4.09 % y la galleta con harina de agave es la que tiene un menor porcentaje de proteína (3.93%), mientras que con las galletas con harina de betabel podemos notar que entre menos presencia de harina mayor porcentaje de proteínas. Galleta con el 5% de sigue la galleta con el 5% de harina de betabel con el 4.22% de proteína y por ultimo las galletas con el 5% de harina de betabel presento un 4.73% de proteína, al 10 % presento un 4.42% de proteína y con el 15% obtuvimos 4.47% de proteína.

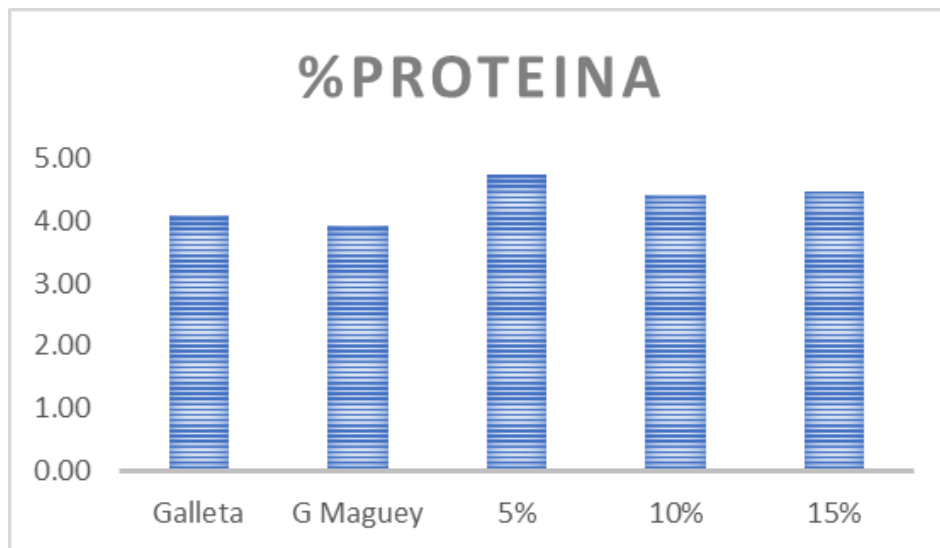


Figura 41. Determinación de proteína cruda

6.4.6.5. Determinación de Humedad

Los resultados obtenidos en este factor son los siguientes. Podemos observar en la figura que la formulación con más humedad son las galletas normales con harina de trigo con un 4.78%, seguidas de las galletas con harina de betabel al 5 y 10% con 4.22% y 4.62%, mientras que las que menos humedad presentan son las galletas con harina de agave (3.25.5) y las galletas con el 10% de harina de betabel con un 3.23% de humedad.

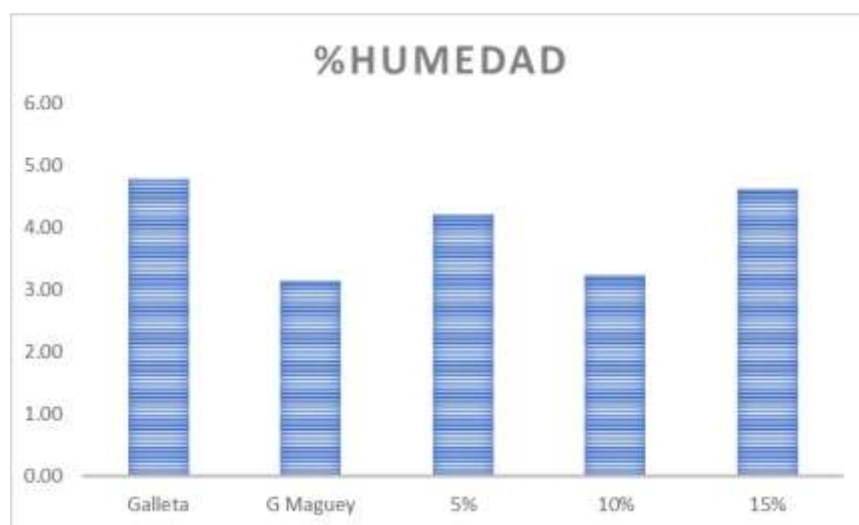


Figura 42. Determinación de Humedad

6.4.6.6. Determinación de cenizas

Al determinar el % de cenizas en nuestras formulaciones nos dimos cuenta que las galletas no adicionadas contienen un porcentaje muy bajo de cenizas, mientras que las galletas adicionadas con harina de agave y al 55 de harina de betabel tienen casi el mismo porcentaje pues una tiene 1.96% y la otra 1.97% respectivamente, en

las que encontramos una diferencia más significativa son con las galletas al 10% de harina de betabel con 2.65% de cenizas y la que tiene un mayor porcentaje son las galletas con el 15% de harina de betabel con 3.58% de cenizas. Entre más harina de betabel hay presente en las galletas hay un mayor porcentaje de cenizas.

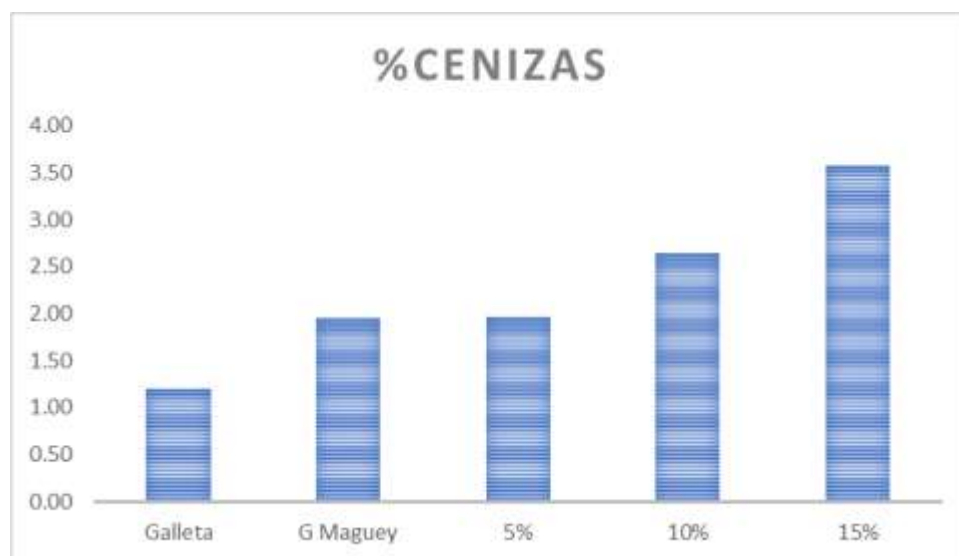


Figura 43. Determinación de cenizas

6.4.7. Extracción de compuestos bioactivos

6.4.7.1. Polifenoles totales

En la determinación de polifenoles totales en obtuvimos que la formulación de galletas con mayor cantidad de polifenoles es la formulación al 15% de harina de betabel, mientras que entre la harina de agave y betabel la que contiene mayor cantidad es la harina de betabel con 167.87 mg EAG/g.

Por lo que si una galleta presenta mayor porcentaje de harina de betabel tendrá una mayor cantidad de polifenoles totales.

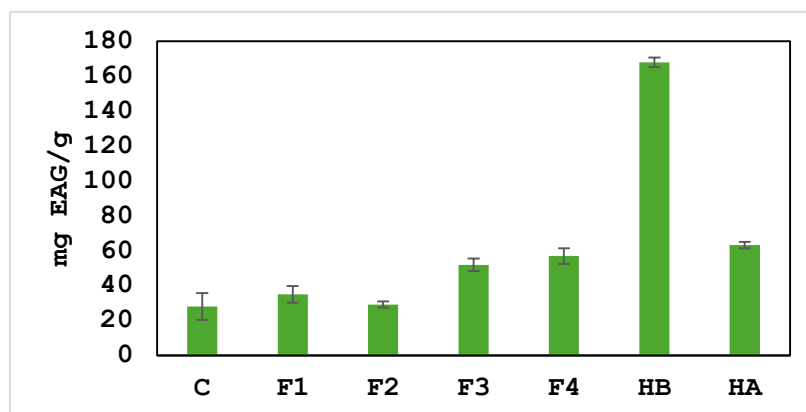


Figura 45. Determinación de polifenoles totales de las formulaciones, las harinas de agave y betabel

6.4.7.2. Azúcares totales

En la determinación de azúcares totales obtuvimos que la harina de agave tiene menor porcentaje (32.92%) a comparación de la harina de betabel (45.62%), por lo que podemos deducir que las formulaciones adicionadas con harina de betabel no diferencian tanto con la galleta con harina de trigo, sin embargo la galleta adicionada con harina de agave al 10% y harina de betabel al 5% presenta una diferencia notable entre todas ya que es la que presenta un menor porcentaje de azúcares totales (30.19%). La formulación con harina de trigo presento un 51.3%, la formulación con harina de agave al 10% presento un 34.81%, harina de betabel al 10% presento 40.46%, harina de betabel al 15% presento 41.11%.

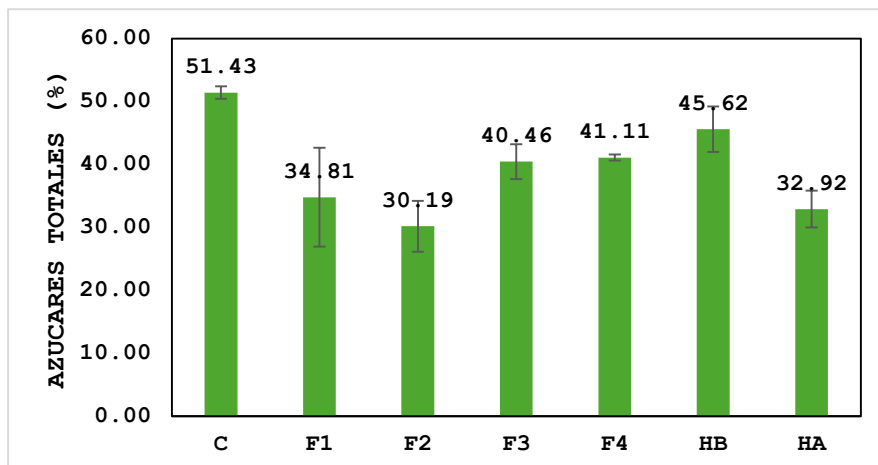


Figura 46. Determinación de azúcares totales

6.4.7.3. Antioxidantes con las técnicas de DPPH y FRAP.

En la figura 44 podemos observar que la harina de betabel tiene una mayor actividad antioxidante por el método de FRAP mientras que la harina de agave obtuvo más por el método DPPH, en cuanto a las formulaciones podemos observar que la que obtuvo una mayor actividad antioxidante tanto por el método DPPH como por FRAP fue la galleta al 15% de harina de betabel.

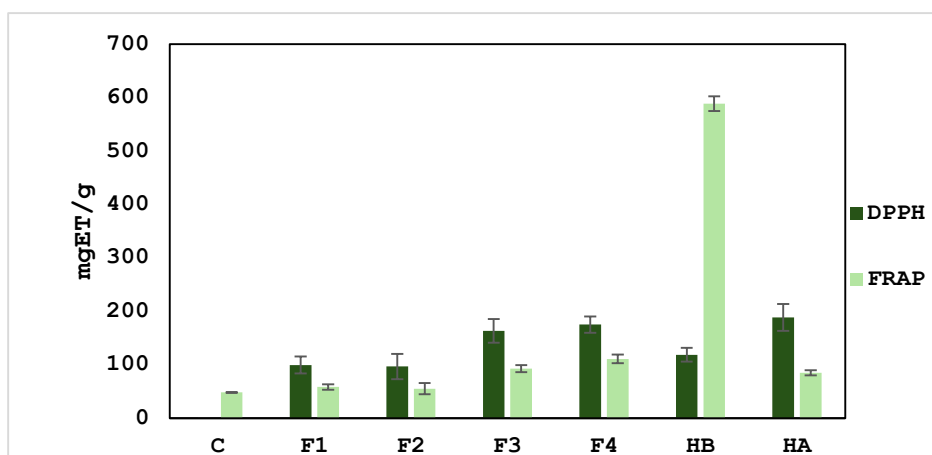


Figura 47. Determinación de antioxidantes de las galletas, harina de agave y betabel

6.5. Evaluación sensorial

6.5.1. Preparación de muestras

Se prepararon cada una de las muestras para ser evaluadas y se les puso un código numérico para que los evaluadores no identificaran cuales eran cada una.



Figura 47. Preparación de las formulaciones para su evaluación sensorial

6.5.2. Evaluación de las muestras

Cada uno de los evaluadores tuvo sus cinco muestras y un pequeño formato donde ir evaluando cada atributo.



Figura 48. *Procesos de evaluación sensorial de las formulaciones*

6.5.2.1. Color

En la evaluación de color por parte de los panelistas obtuvimos los siguientes resultados representados en la figura. Podemos observar que la galleta con una mejor aceptación en cuanto a este factor fue la galleta no adicionada, esto puede ser debido a que es una galleta estándar, después tenemos a la galleta adicionada con el 15% de harina de betabel, mientras que las galletas con una aceptación más baja fue la galleta adicionada solo con harina de agave.

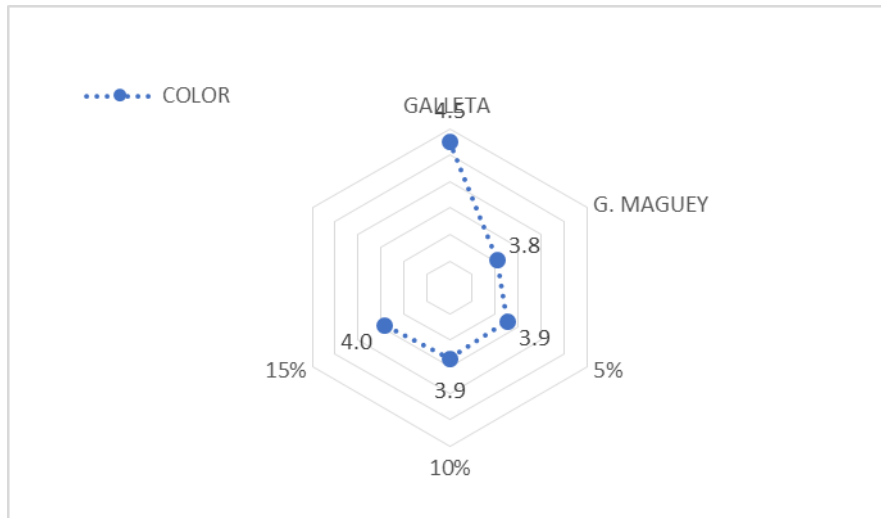


Figura 48. Análisis de color de galletas

6.5.2.2. Olor

En cuanto a la evaluación de olor obtuvimos lo siguiente. La galleta con una mayor aceptación al olor fue la galleta no adicionada, seguida de la galleta con el 5% de harina de betabel, seguida de la galleta con 15% de harina de betabel y la que quedo en último lugar es la galleta con el 10%.

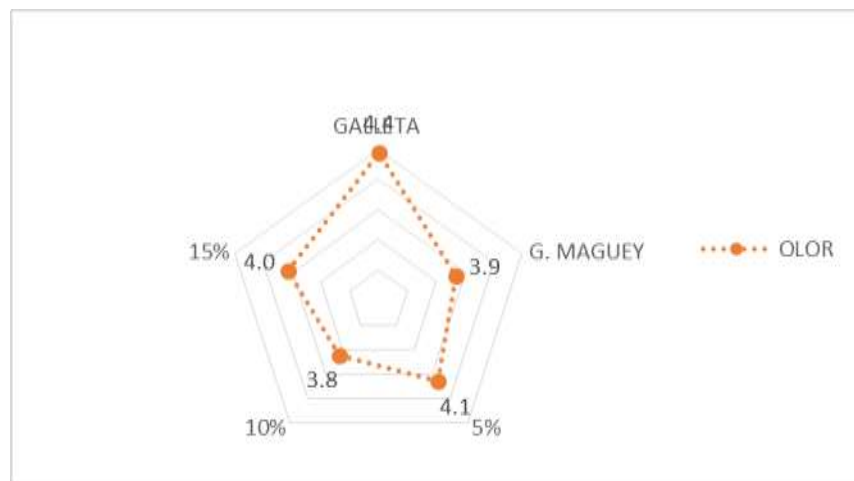


Figura 49. Análisis de olor de las formulaciones de galletas

6.5.2.3. Sabor

En cuanto al sabor la galleta más aceptada es la no adicionada esto debido a que es un sabor al que están más acostumbrados, las que le siguen son las galletas adicionadas con harina de agave y al 5% de harina de betabel con un 4.1, mientras que las que menos aceptadas son las que tienen el 10 y 15% de harina de betabel.

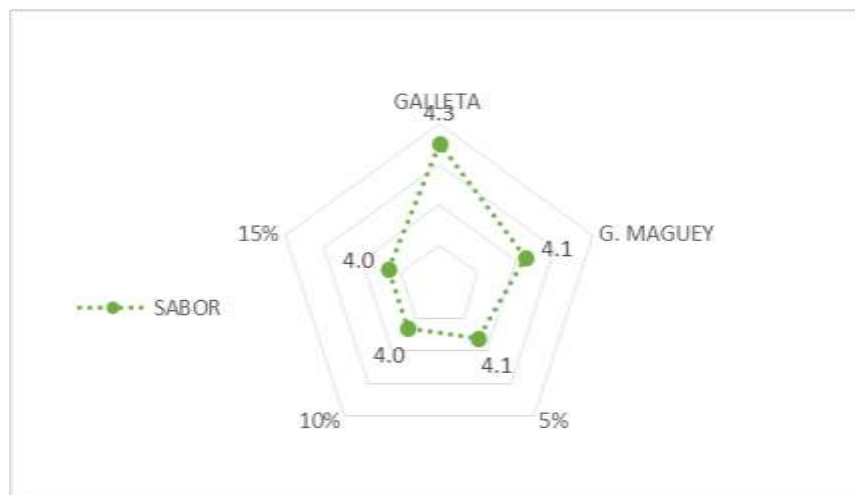


Figura 50. Análisis de sabor de las formulaciones de galletas

6.5.2.4. Textura

De acuerdo a los resultados obtenidos y expresados en la figura tenemos que la formulación con mayor aceptación en cuanto a la textura son las galletas con harina de agave seguida de la galleta al 5% de harina de betabel, mientras que las menos aceptadas son las galletas al 10 y 15% de harina de betabel.

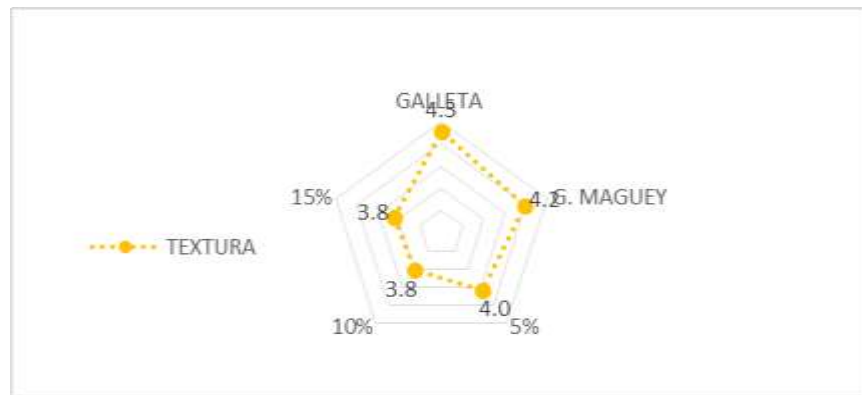


Figura 51. Análisis sensorial de textura de las formulaciones de galletas

6.5.2.5. Dureza

Otro factor evaluado fue la dureza, lo que obtuvimos fue que la formulación con mayor aceptación fue la galleta sin adicionar y la galleta al 5% de harina de betabel, seguida de la galleta con harina de agave, dejando al final las galletas con el 10 y 15% de harina de betabel con un índice bajo de aceptación.



Figura 52. Análisis sensorial de la dureza de las formulaciones de galletas

6.5.2.6. Aceptación global

En cuanto a la aceptación de las formulaciones obtuvimos que la galleta con mayor aceptación global fue la galleta sin adicionar y la galleta adicionada al 15% de harina de betabel y la que menos aceptación global tuvo fue la galleta al 10% de harina de betabel.

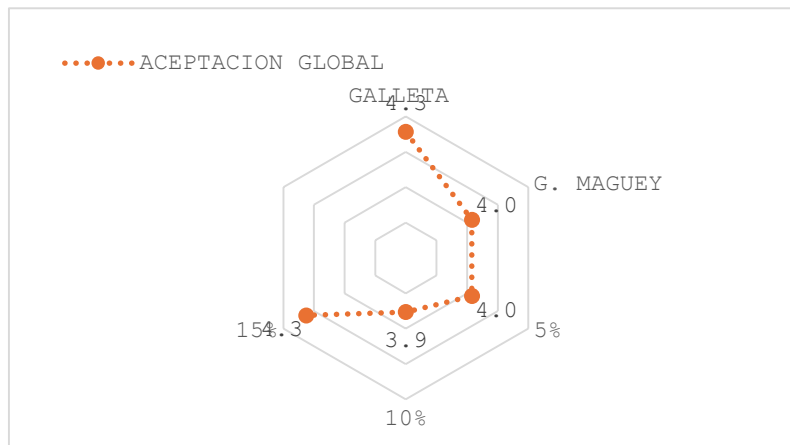


Figura 53. Análisis de aceptación global de las muestras de galletas

Podemos decir que estas dos formulaciones tuvieron la mayor aceptación global porque una de ellas es el estándar y a lo que se está acostumbrado, mientras que la formulación al 15% resulto tener una textura más blanda y tiene un color más llamativo que las otras.

7. Conclusiones

Se logró obtener materias primas de buena calidad, logrando la obtención de las harinas de betabel y agave, lo cual fue de suma importancia para la elaboración de cinco distintas formulaciones de galletas tomando como base la harina de agave al 10% para todas las formulaciones.

Las galletas desarrolladas de acuerdo a nuestras formulaciones demostraron un aumento en su contenido nutricional, pues se logró aumentar su contenido nutricional, aumento el % de proteína, %mst y se obtuvo un bajo % de grasa. Además de que se logró tener presente actividad antioxidante y compuestos bioactivos en todas las formulaciones esto debido a la presencia de la harina de betabel en su mayoría.

La evaluación sensorial realizada nos llevó a obtener la mejor opción de todas las formulaciones para los consumidores según sus preferencias, así obtuvimos que la formulación que cumple de mejor manera con sus gustos y preferencias fue la galleta que se adiciono con 15% de harina de betabel y base de 10% de harina de agave, esta galleta fue la que presento mejores propiedades y mejores atributos.

8. Bibliografía

- Márquez-Rangel, I., Cruz, M., Ruiz, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Loredó-Treviño, A., & Belmares, R. (2023). Agave waste as a source of prebiotic polymers: Technological applications in food and their beneficial health effect. *Food Bioscience*.
- Mirmiran, P., Houshialsadat, Z., Gaeini, Z., Bahadoran, Z., & Azizi, F. (2020). Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutrition & Metabolism*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0>
- Vilaplana, M. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos. Vitaminas, minerales y suplementos. Offarm.
- Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. (s. f.). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf
- Sergio, Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100089–100089. . <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave By-Products: An Overview of Their Nutraceutical Value, Current Applications, and Processing Methods. *Polysaccharides*. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
- Betalains A New Class of Dietary Cationized Antioxidants. (2022). ACS Publications.

- Gliszczyńska-Świgło, A., Szymusiak, H., & Malinowska, P. (2006). Betanin, the main pigment of red beet: Molecular origin of its exceptionally high free radical-scavenging activity. *Food Additives and Contaminants*, 23(11), 1079–1087. <https://doi.org/10.1080/02652030600986032>
- Schliemann, W., Cai, Y.-Z., Degenkolb, T., Schmidt, J., & Corke, H. (2001). Betalains of *Celosia argentea*. *Phytochemistry*, 58(1), 159–165. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(01\)00141-8](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(01)00141-8)
- Izabela Sadowska-Bartosz, & Bartosz, G. (2021). Biological Properties and Applications of Betalains. *Molecules*, 26(9), 2520–2520. <https://doi.org/10.3390/molecules26092520>
- Rehman, S., Isra Umbreen Mufti, Qurrat Ul Ain, & Ijaz, B. (2024). Bioactive Compounds and Biological Activities of Red Beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Reference Series in Phytochemistry*, 845–875. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44746-4_42
- Rosario. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional*, 30(3), 12–14. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentos-funcionales>
- Pérez Ríos, Mónica, & Ruano, A. (2004). Vitaminas y salud. *Offarm*, 23(8), 96–106. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-vitaminassalud-13065403>
- Gimeno Creus, Eva. (2003). Alimentos funcionales: ¿alimentos del futuro? *Offarm*, 22(7), 68–71. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-alimentos-funcionales-alimentos-del-futuro-13050009>
- VILAPLANA, M. (2001). Aspectos nutricionales y terapéuticos de la fibra dietética. *Offarm*, 20(2), 96–101. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-aspectos-nutricionales-terapeuticos-fibra-dietetica-13784>

- Capítulo 10: Minerales. (s. f.). <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s0e.htm#bm14x>
- Secretaría de Salud. (2024). Los minerales en la dieta diaria. Gob.mx.
- NUTRICION HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO. (2024). Fao.org.
- Antioxidantes y prevención del cáncer. (2017, February 6). Cancer.gov; Cancer.gov.
- *¿Qué es el gluten?* / FACE. (s. f.). FACE. <https://celiacos.org/enfermedad-celiaca/que-es-el-gluten/>
- De Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (s. f.). Maguey pulquero: el estado de Hidalgo destacó en 2017 con 69.6% de . . . gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-pulquero?idiom=es>
- Mozombite, J. C. (s. f.). definicion galleta. Scribd. <https://www.scribd.com/document/467855879/definicion-galleta>
- *Fibra dietética* | Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación (S.E.D.C.A.). (2019, 27 junio). <https://nutricion.org/portfolio-item/fibra-dietetica/>
- Diplock, A. T., Charuleux, J., Crozier-Willi, G., Kok, F. J., Rice-Evans, C., Roberfroid, M., Stahl, W., & Viña-Ribes, J. (s. f.). Functional food science and defence against reactive oxidative species. *British Journal Of Nutrition*, 80(S1), S77-S112. <https://doi.org/10.1079/bjn19980106>
- Bouayed, J., & Bohn, T. (2010). Exogenous Antioxidants—Double-Edged Swords in Cellular Redox State: Health Beneficial Effects at Physiologic Doses versus Deleterious Effects at High Doses. *Oxidative Medicine And Cellular Longevity*, 3(4), 228-237. <https://doi.org/10.4161/oxim.3.4.12858>
- Davis, C. D., Tsuji, P. A., & Milner, J. A. (2012). Selenoproteins and Cancer Prevention. *Annual Review Of Nutrition*, 32(1), 73-95. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071811-150740>