

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y**

**TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**Evaluación de los componentes nutrimentales, funcionales y propiedades sensoriales de galletas elaboradas con harina de dos variedades de maíz germinado**

**POR:**

**GALDINO ANTONIO ALBERTO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO**

**OCTUBRE DEL 2022**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y**

**TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Evaluación de los componentes nutrimentales, funcionales y propiedades sensoriales de galletas elaboradas con harina de dos variedades de maíz germinado**

**POR:**

**Galdino Antonio Alberto**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

La cual fue dirigida y revisada por:



**Dra. Xochitl Ruelas Chacón**

Director



**Dr. Antonio Flores Naveda**

Codirector

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y**

**TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Evaluación de los componentes nutrimentales, funcionales y propiedades sensoriales de galletas elaboradas con harina de dos variedades de maíz germinado.**

**POR:**

**Galdino Antonio Alberto**

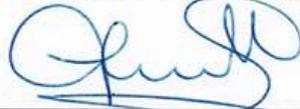
**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

La cual cuál fue revisada y aprobada por:

**COMITÉ ASESOR**



**Dra. Xochitl Ruelas Chacón**

Asesor principal



**QFB. María del Carmen Julia García**

Coasesor



**M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla**

Coasesor

**Dr. José Dueñez Alanís**

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2022

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y**

**TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Evaluación de los componentes nutrimentales, funcionales y propiedades sensoriales de galletas elaboradas con harina de dos variedades de maíz germinado.**

**POR:**

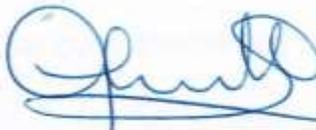
**Galdino Antonio Alberto**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**JURADO EXAMINADOR**



**Dra. Xochitl Ruelas Chacón**

Presidente



**Dr. Antonio Flores Naveda**

Vocal



**QFB. Ma. del Carmen Julia García**

Vocal



**M.C. Oscar Noe Reboloso Padilla**

Vocal

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme el privilegio de formarme profesionalmente en las instalaciones de esta gran casa de estudios.

A mi madre, Cecilia Alberto Reyes, por todo el apoyo incondicional durante toda mi vida, y sobre todo en esta gran etapa de mi vida de extrema dedicación a mi carrera universitaria.

A mis hermanas, María Teresa y María del Rosario por darme esa gran motivación de siempre esforzarme por ser mejor persona y un ejemplo a seguir.

A la Dra. Xochitl Ruelas Chacón, por su tiempo y dedicación al acompañarme en este trabajo de investigación y su gran disposición para asesorarme.

A los compañeros que conocí en la UAAAN, con quienes conviví dentro y fuera de la Universidad.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme culminar adecuadamente esta etapa.

A mi madre y hermanas, por su motivación constante durante toda la carrera.

A mis profesores, por compartir conmigo sus conocimientos y guiarme en todo este trayecto.

A los compañeros más cercanos, por apoyarnos mutuamente dentro y fuera de la Universidad.

A la UAAAN, por brindarme las herramientas necesarias para cursar mi carrera universitaria.

## DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

La información que se exhibe en esta tesis está protegida por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y es propiedad del autor principal, responsable directo que jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Desarrollo íntegro del trabajo con citas de información incluida de otros autores debidamente identificadas, por lo que no se asume como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos o digitales; reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original; robar, comprar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; citar textualmente sin usar comillas. Así mismo es de mi conocimiento que el uso para fines como la edición, reproducción, distribución y lucro será perseguido y sancionado por el titular de los Derechos de Autor.

Por ello, afirmo que soy responsable de todo su contenido y asumo, como autor, las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el presente documento. Declaro que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Atentamente

**Alma Terra Mater**



---

**Galdino Antonio Alberto**

Autor principal



---

**Dra. Xochitl Ruelas Chacón**

Asesor principal

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA.....	II
DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO .....	III
CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
CAPÍTULO I .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Hipótesis .....	2
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación.....	3
CAPÍTULO II .....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. Generalidades del maíz .....	5
2.1.1. El maíz.....	5
2.1.2. Historia del maíz .....	5
2.1.3. Aspectos botánicos y taxonómicos.....	6
2.1.4. La especie: partes útiles, usos.....	7
2.1.5. Composición nutricional del maíz .....	9
2.1.6. Variedades del maíz .....	12
2.1.7. El maíz en México .....	14
2.2. Harina.....	15
2.2.1. Harina de maíz .....	16
2.3. Germinación.....	16
2.3.1. La necesidad de una germinación controlada .....	17

2.4. Productos de cereales germinados.....	18
2.5. Alimentos funcionales .....	19
2.5.1. Componentes bioactivos de alimentos a base de maíz.....	20
2.6. Galletas.....	23
2.6.1. Clasificación de las galletas.....	24
CAPÍTULO III .....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1. Germinación del maíz .....	29
3.2. Elaboración de las galletas .....	29
3.3. Análisis bromatológico .....	29
3.3.1. Determinación de humedad.....	29
3.3.2. Determinación de grasa.....	29
3.3.3. Determinación de cenizas .....	30
3.3.4. Determinación de fibra cruda.....	30
3.3.5. Determinación de proteína cruda.....	31
3.4. Análisis físico .....	31
3.4.1. Color .....	31
3.4.2. Firmeza.....	31
3.4.3. Actividad de agua ( $A_w$ ).....	32
3.5. Análisis de los componentes bioactivos .....	32
3.5.1. Determinación de polifenoles hidrolizables.....	32
3.5.2. Determinación de flavonoides .....	32
3.5.3. Determinación de antocianinas.....	33
3.5.4. Análisis de carotenoides.....	33
3.6. Determinación de actividad antioxidante.....	34
3.7. Análisis sensorial .....	35
CAPÍTULO IV .....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Formulación .....	36
4.2. Análisis bromatológico .....	37
4.2.1. Determinación de humedad.....	37

4.2.2.	Determinación de contenido de grasa .....	38
4.2.3.	Determinación de cenizas .....	39
4.2.4.	Determinación de fibra cruda.....	40
4.2.5.	Determinación de contenido de proteína .....	41
4.3.	Características físicas .....	42
4.3.1.	Color .....	42
4.3.2.	Firmeza.....	45
4.3.3.	Actividad de agua ( $A_w$ ).....	46
4.4.	Análisis de componentes bioactivos.....	47
4.4.1.	Polifenoles hidrolizables .....	47
4.4.2.	Flavonoides o taninos condensados.....	48
4.4.3.	Antocianinas .....	49
4.4.4.	Carotenoides (variedad amarilla).....	51
4.5.	Capacidad antioxidante por método ABTS .....	52
4.6.	Evaluación sensorial .....	53
4.6.1.	Apariencia global .....	53
4.6.2.	Color .....	54
4.6.3.	Olor.....	55
4.6.4.	Sabor .....	56
4.6.5.	Textura .....	57
4.6.6.	Aceptación global .....	58
CAPÍTULO V	.....	60
5. CONCLUSIONES	.....	60
CAPÍTULO VI	.....	61
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	61
CAPÍTULO VII	.....	72
7. ANEXOS	.....	72

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Contenido de minerales en el maíz.....	10
<b>Cuadro 2.</b> Contenido de aminoácidos en el maíz.....	11
<b>Cuadro 3.</b> Contenido de vitaminas en el maíz.....	12
<b>Cuadro 4.</b> Identificación de las cuatro formulaciones de galletas.....	36
<b>Cuadro 5.</b> Medición del color de las galletas.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Medias del contenido de humedad de las galletas. ....	38
<b>Figura 2.</b> Contenido de grasa en las galletas. ....	39
<b>Figura 3.</b> Porcentaje de cenizas en los tratamientos de galletas. ....	40
<b>Figura 4.</b> Porcentaje de fibra cruda de los tratamientos de galletas. ....	41
<b>Figura 5.</b> Medias del porcentaje de proteína de las galletas. ....	42
<b>Figura 6.</b> Color que presentaron las galletas. ....	44
<b>Figura 7.</b> Medias de la firmeza que presentaron los tratamientos de galletas. ....	46
<b>Figura 8.</b> Actividad de agua (Aw) de los tratamientos de galletas. ....	47
<b>Figura 9.</b> Contenido de polifenoles en las galletas. ....	48
<b>Figura 10.</b> Medias del contenido de flavonoides que presentaron las galletas. ....	49
<b>Figura 11.</b> Contenido de antocianinas de los tratamientos de galletas. ....	50
<b>Figura 12.</b> Medias del contenido de carotenoides que presentaron las galletas. .	51
<b>Figura 13.</b> Capacidad antioxidante que oresentaron las galletas. ....	53
<b>Figura 14.</b> Nivel de agrado de la apariencia global de las galletas. ....	54
<b>Figura 15.</b> Nivel de agrado del color que presentaron las galletas. ....	55
<b>Figura 16.</b> Medias del nivel de agrado de olor de los tratamientos de galletas. ...	56
<b>Figura 17.</b> Nivel de agrado del sabor que presentaron las galletas. ....	57
<b>Figura 18.</b> Nivel de agrado de la textura que presentaron las galletas. ....	58
<b>Figura 19.</b> Aceptación global de los tratamientos de galletas. ....	59

## RESUMEN

El maíz (*Zea mays L.*) es una de las especies vegetales de mayor consumo y explotación en México, mediante este grano se elaboran diversos alimentos, entre ellos encontramos las galletas, que por su composición es posible ser consumidas por la mayoría de la población inclusive por aquellos que son intolerantes al gluten, ya que este producto carece de esta proteína característica de las galletas elaboradas a base de otros cereales. En el presente estudio se evaluaron las características nutrimentales, funcionales y sensoriales de galletas a base de maíz. Se llevó a cabo la germinación de dos variedades de maíz para elaborar galletas y cuantificar los cambios en el contenido de componentes funcionales y hacer la comparación frente a las galletas que se elaboraron a base de maíz sin germinar y de esta manera observar de qué manera la germinación influye en el contenido de nutrientes en el maíz.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico InfoStat versión 2020 en el cual se llevó a cabo una comparación de medias con una  $p \leq 0.05$ . Las muestras empleadas fueron la variedad amarilla y roja de maíz de la UAAAN.

En el análisis bromatológico se determinó el contenido de humedad, grasa, fibra cruda, cenizas y proteína cruda, de igual manera se observaron los cambios en el aspecto físico de las galletas elaboradas a base de las cuatro formulaciones (variedad amarilla: germinado y sin germinar; variedad roja: germinado y sin germinar) en cuanto al color, firmeza y actividad de agua ( $A_w$ ). Mediante el análisis de los componentes funcionales se pudo comprobar que la germinación influye

positivamente en las propiedades funcionales del maíz y por ende de las galletas. Debido a que las cantidades de componentes fenólicos, antocianinas, carotenoides y flavonoides aumentan como consecuencia de una germinación controlada. Para conocer el nivel de agrado de los consumidores hacia las galletas de las distintas formulaciones se llevó a cabo una evaluación sensorial en la que participaron 15 jueces en una prueba hedónica, donde se evaluaron los atributos de apariencia global, color, olor, sabor y aceptación global y la textura de las galletas, con una escala de 7 puntos, donde 1 corresponde a menor aceptación y 7 es de mayor aceptación.

**Palabras clave:** maíz, germinación, galleta, compuestos funcionales, capacidad antioxidante, evaluación sensorial.

**Correo electrónico:**

Tesista: Galdino Antonio Alberto [galdino.antonio1349@gmail.com](mailto:galdino.antonio1349@gmail.com)

Asesora principal: Xochitl Ruelas Chacón [xruelas@uaaan.edu.mx](mailto:xruelas@uaaan.edu.mx)  
[xruelas@yahoo.com](mailto:xruelas@yahoo.com)

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial, es fuente de elementos nutritivos para los seres humanos y los animales, es una materia prima básica para múltiples transformaciones, con la que se puede producir distintos tipos de alimentos, almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes y recientemente para la producción de combustible (FAO, 2022).

México se posiciona entre el quinto y el séptimo lugar como productor de maíz a nivel global, pero el tercero como importador del mismo cereal para cubrir la demanda interna. El INEGI (2014) describió que 82.2% de la superficie de la superficie cultivada en México se utilizan semillas de variedades criollas, las cuales además de estar adaptadas a las condiciones climáticas y tecnológicas de los productores, poseen características que les permite responder a sus gustos alimenticios de poblaciones en culturas muy específicas. La siembra de semillas criollas de maíz por los campesinos ha generado un recurso fitogenético de gran biodiversidad, con más de 50 razas nativas reconocidas (González-Cortéz *et al.*, 2016).

Para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) el grano germinado se refiere a: los granos malteados o germinados que contengan todo el salvado original, germen y endospermo se consideran granos enteros siempre que el crecimiento de los brotes no supere la longitud de la semilla y que los valores de nutrientes no hayan disminuido. Para obtener productos a base de germinados, los granos germinados deben secarse suavemente para hacer harinas. El proceso de secado termina los procesos biofísicos y bioquímicos iniciados durante la germinación, y también mejora el sabor en los productos finales (Whole Grains Council, 2008).

En los últimos años, los productos de granos germinados han surgido como una nueva adición a la industria alimentaria, debido a su mayor valor nutricional y la mejor asimilación. Se sabe que el proceso de germinación activa las enzimas presentes y se rompen estructuras, ayudando así a aumentar la digestibilidad de los granos (Nelson *et al.*, 2013).

Existe una gran variedad de productos horneados en la familia típica de las galletas, esta diversidad es evidente en los estantes de un supermercado, este alimento también es elaborado en casa debido a su simplicidad. Se caracteriza por un bajo contenido de humedad (inferior al 5%) y una base de harina de cereales de al menos 60%. La harina es generalmente de trigo, pero también puede ser de avena, cebada, centeno, maíz o arroz en cierta medida. El bajo contenido de humedad en las galletas implica que estos productos tienen un riesgo relativamente bajo de deterioro por microorganismos.

Dado lo anterior se estableció la siguiente hipótesis:

### **1.1. Hipótesis**

Las galletas elaboradas a base de maíz germinado poseen mayor contenido nutrimental, compuestos funcionales y capacidad antioxidante de gran importancia para el organismo humano en comparación con las galletas elaboradas con las mismas variedades de maíz sin germinar.

Para poder comprobar la hipótesis establecida se propusieron los siguientes objetivos:

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar las características nutrimentales, bioactivas y sensoriales de galletas a base de maíz.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Establecer las formulaciones experimentales de las galletas a base maíz de dos variedades (rojo y amarillo). Y germinar los granos para posteriormente realizar la obtención de la harina correspondiente.
2. Realizar análisis proximal por los métodos establecidos de la AOAC, parámetros físicos del producto (Aw, color, y firmeza).
3. Analizar contenido de componentes bioactivos por métodos espectrofotométricos.
4. Valorar la capacidad antioxidante por método de ABTS.
5. Evaluar sensorialmente las muestras experimentales mediante una prueba hedónica.

### **1.3. Justificación**

La tendencia actual por el consumo de alimentos saludables crece día con día debido a la necesidad de prevenir enfermedades crónicas. Estas enfermedades, se han desarrollado por una mala alimentación, como la diabetes o la deficiencia de algún nutriente necesario para el adecuado funcionamiento del organismo, así como evitar en la medida de lo posible la oxidación y envejecimiento de las células (Mex-Álvarez *et al.*, 2013).

Los alimentos funcionales ofrecen al consumidor una opción de alimentación sana y rápida al estar formulados con componentes necesarios para el organismo, así como su rápida asimilación y aprovechamiento. Estos alimentos existen en forma natural y elaborados, aquellos que están elaborados se ofrecen en presentaciones como galletas, jugos, yogurt, entre otras, están diseñados para ingerirse inmediatamente sin necesidad de invertir tiempo en su preparación. Cada alimento está formulado específicamente para ofrecer al consumidor un componente en mayor proporción como pueden ser proteínas, vitaminas, antioxidantes, etc. Debido a lo anterior, existe la importancia de elegir el alimento funcional adecuado a los requerimientos que el consumidor pretende cubrir o reforzar particularmente (Serna-Saldivar *et al.*, 2015).

Actualmente la mayoría de las galletas que existen en el mercado se elaboran a base de harina de trigo y se endulzan con azúcar, por lo cual no son una opción para diabéticos y celíacos. Si bien se sabe que la germinación aumenta el contenido de componentes bioactivos en granos como el maíz, elaborar una galleta con la harina de este cereal y endulzarlo con Stevia impulsará el valor nutricional del producto y será una opción para las personas diabéticas y aquellas intolerantes al gluten.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Generalidades del maíz

##### 2.1.1. El maíz

El maíz (*Zea mays*) es una planta monocotiledónea muy cultivada a lo largo de todo el mundo, siendo uno de los alimentos de consumo básico en muchas poblaciones. Pertenece a la familia de las Poáceas, las especies del género *Tripsacum* son formas silvestres del maíz, también con origen americano, pero sin valor económico (Sánchez Ortega, 2014).

##### 2.1.2. Historia del maíz

No es posible precisar donde y cuando se domesticó y transformó radicalmente el teosinte (*Zea mexicana*) para convertirlo, por medio de la selección y cruzamiento, en el maíz que hoy conocemos (*Zea mays*). El polen más antiguo de la planta data de entre 7400 y 6700 años antes de nuestra era y fueron encontrados en Oaxaca, aunque es probable que los haya con mayor antigüedad. Las semillas más viejas son de 5000 años antes de nuestra era y proceden del centro de México. (Sánchez Ortega, 2014).

Hoy sabemos que el proceso de domesticación del maíz se llevó a cabo durante varios milenios y logró transformar las pequeñas mazorcas con pocos granos en lo que conocemos ahora, darle a la planta una gran plasticidad, permitiendo a sus variedades vivir en ambientes geográficos muy diferentes, y al mismo tiempo se seleccionaron granos para fines culinarios distintos. Durante las primeras etapas de este proceso, el maíz fue uno más entre muchos recursos para la alimentación de los pueblos mesoamericanos, junto con diversas plantas, animales terrestres y acuáticos, así como productos inorgánicos. Su presencia en la cultura y en la dieta se acrecentó con el tiempo (Vargas, 2014).

Para comprender las vicisitudes y las teorías de la adopción del maíz en el viejo mundo vale la pena tomar en cuenta sus características. En primer lugar, tiene una

muy alta productividad por unidad de superficie de cultivo, de tal manera que la tierra destinada a su siembra ofrece una mejor relación costo/beneficio en comparación con otras gramíneas. Tiene la ventaja de crecer y madurar con rapidez y ser fácil de cosechar. La planta es seleccionada para crecer en diversos ambientes. Además, el almidón convertido en glucosa es una buena fuente de energía, el grano de maíz proporciona otros nutrimentos, entre ellos proteínas y algunas vitaminas, que forman parte importante de la dieta humana. Tomando en cuenta la versatilidad y rendimiento agrícola y culinario de la planta, su destino entre diversos pueblos del mundo ha variado (Vargas, 2014).

### **2.1.3. Aspectos botánicos y taxonómicos**

El maíz es una planta monocotiledónea que se cultiva en diversas regiones del mundo, siendo uno de los principales alimentos de consumo básico.

Su clasificación taxonómica es la siguiente (Sánchez, 2014):

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta

Clase: Angiosperma

Orden: Graminales

Familia: Graminae

Género: Zea

Especie: Mays

La planta del maíz es una monocotiledónea anual de elevado porte, frondosa, con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con pocos macollos. Las yemas laterales en la axila de las hojas de la parte superior de la planta formarán una inflorescencia femenina (mazorca) cubierta por hojas y que servirán como reserva. Las hojas que se desprenden de los nodos son alternas, lanceoladas y acuminadas, con pequeñas lígulas, naciendo en los nudos de forma alternada. La parte superior de la planta está compuesta de una espiga central con algunas ramificaciones laterales que es donde se producirán los granos de polen (CONACYT, 2022).

El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52% de la planta además de ser el principal sistema de fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es del 48% de la masa total de raíces de la planta. La función de las raíces de anclaje es mantener la planta erecta para evitar su caída. En cuanto a su sistema caulinar, cuando tienen tres hojas sobre la superficie son ya visibles las plántulas, pero sus puntos de crecimiento aún están bajo tierra. El tallo formado presenta varias estructuras básicas denominada fitómero: meristemo apical, prófalo, hojas e internudos (CONACYT, 2022).

#### **2.1.4. La especie: partes útiles, usos**

El maíz goza de gran importancia económica mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un gran número de productos industriales. Cerca del 40% del maíz producido en los países tropicales se usa para la alimentación animal, concretamente para el ganado y establecimientos agrícolas (Fernández *et al.* 2013).

Una de las ventajas que presenta el maíz es que es el único cereal que puede ser usado como alimento en cualquier etapa de desarrollo de la planta. Por ejemplo, las espigas jóvenes del maíz que se cosechan antes de la floración de la planta tienen una buena utilidad como hortalizas. Las mazorcas se pueden tostar enteras y consumir al momento. Las mazorcas verdes del maíz común son también usadas a gran escala, tanto asadas sobre carbón o hervidas en agua con sal o cal, o sin ella. Cuando se cosechan mazorcas jóvenes o las mazorcas verdes se obtiene un buen forraje. El maíz con los granos en estado pastoso es el más adecuado para usar como forraje ya que contiene más materia seca y elementos digestibles por hectárea que cualquier otro cultivo. Las mazorcas inmaduras y muy jóvenes se cosechan cuando los estambres están por emerger fuera de las hojas de cobertura o justo a poco tiempo de parecer, pero siempre antes de que los estambres hayan sido polinizados. (Fernández *et al.*, 2013).

Actualmente, el maíz se utiliza en múltiples productos industriales, es fuente de materia prima para la producción de almidón y derivados, como edulcorantes, aceite y alcohol, entre otros. Algunos de los productos industriales se utilizan en la industria química y en algunos casos como reemplazo de los derivados del petróleo (Ranum *et al.*, 2014).

En la industria farmacéutica los estilos se han usado como diurético; el aceite de maíz, gracias a sus ácidos grasos poliinsaturados, tiene una acción hipolemiante y antiateromatosa. La fracción insaponificable de la semilla se suele emplear en la elaboración de dentífrico. La dextrina procedente de la hidrólisis parcial del almidón tiene aplicaciones dietéticas. Por otro lado, los estilos favorecen la eliminación urinaria de líquidos, en la prevención de litiasis y como coadyuvante en el tratamiento de sobrepeso. Recientemente se ha considerado al maíz como alimento funcional al tener la capacidad de disminuir los niveles de colesterol total y poseer antioxidantes, es fuente importante de antocianinas, con las cuales se han hecho extractos como suplemento dietético antioxidante (Shipp y Abdel, 2010).

En México el empleo del maíz en la alimentación es predominante, aunque en el resto del mundo la importancia radica en su uso como insumo en alimentos balanceados para animales y en la industria. México no solo es centro de la diversidad de fenotipos del maíz, también lo es de un conjunto de usos culinarios. En distintas regiones de México se preparan numerosos platillos de maíz, que varían en las distintas regiones, estos dependen de las tradiciones gastronómicas, disponibilidad de razas nativas y gustos particulares (Linares y Bye, 2012).

Los granos de maíz duro sometidos a altas temperaturas, ya sea en arena o en un recipiente, dan lugar a las palomitas, muy populares en todo el mundo. El pericarpio, aunque se utiliza básicamente como alimento, se considera también como fuente de fibra dietética. De forma fermentada ese grano se puede convertir en alcohol. Las gachas de maíz son muy utilizadas en África o América Latina, elaboradas a partir de granos remojados empastados. Del maíz nixtamalizado (maíz cocido con

cal, remoción del pericarpio y posterior molienda) se puede extraer una masa que sirve para hacer tortillas o tacos, entre otros productos (Linares y Bye, 2012).

### **2.1.5. Composición nutricional del maíz**

Existen muchas formas de utilizar las distintas partes de la planta del maíz, en base a que cada parte tiene diferente composición. El endospermo es básicamente almidón, pero también posee algunas proteínas y trazas de aceites. La mayoría de los aceites se encuentran contenidos en el germen, el cual presenta un elevado contenido proteico. Por otro lado, los azúcares se encuentran almacenados en su mayor parte en el germen (López Martínez *et al.*, 2011).

El almidón [amilosa (25-30%) y la amilopectina (70-75%)] constituyen hasta el 72-73% del peso del grano del maíz. Otros hidratos de carbono presentes son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano (Grande y Orozco, 2013).

El aceite del grano de maíz se encuentra sobre todo en el germen y representa entre el 3 al 18%. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados (11% de ácido palmítico, 2% de ácido esteárico), alto nivel de ácidos grasos poliinsaturados (24% de ácido linoleico) y un 0.7% de ácido linolénico (Grande y Orozco, 2013).

La fibra dietética es el cuarto componente mayoritario localizándose fundamentalmente en el pericarpio. La fibra insoluble está en mayor proporción que la fibra soluble, mientras que los granos enteros tendrán mayor cantidad de fibra que los granos descascarados. El fósforo y el potasio son los minerales más abundantes del grano de maíz como se muestra en el cuadro 1. Contiene además dos vitaminas liposolubles, la vitamina E y la provitamina A (carotenoide). La mayor parte de los carotenoides se localizan en el endospermo duro del grano y en pequeñas cantidades en el germen, conteniendo  $\beta$ -caroteno en una proporción en torno al 20% del total de los carotenoides presentes en el grano, mientras que la criptoxantina equivale al 51% del total de los carotenoides. La vitamina E se localiza en el germen, principalmente (Ortiz *et al.*, 2016).

**Cuadro 1.** Contenido de minerales en el maíz

Minerales	Unidades	Maíz blanco (100 g)	Maíz amarillo (100 g)	Pasta de maíz seca (100 g)	Pasta de maíz cocinada (100 g)
Calcio (Ca)	mg	7	7	4	1
Hierro (Fe)	mg	2.71	2.71	0.98	0.25
Magnesio (Mg)	mg	127	127	125	36
Fósforo (P)	mg	210	210	266	76
Potasio (K)	mg	287	287	309	31
Sodio (Na)	mg	35	35	3	0
Zinc (Zn)	mg	2.21	2.21	1.88	0.63
Cobre (Cu)	mg	0.314	0.314	0.212	0.064
Manganeso (Mn)	mg	0.485	0.485	0.507	0.153
Selenio (Se)	µg	15.5	15.5	8.3	2.8

Fuente: Sánchez Ortega, 2014.

En el estilo podemos encontrar abundantes sales de potasio (no inferiores al 5%), flavonoides, fermentos, taninos, trazas de aceite esencial, alontoína, ácido salicílico (0.3%), lípidos. La fracción insaponificable de las semillas contiene esteroides:  $\beta$ -sistosterol, campesterol y  $\alpha$ - y  $\gamma$ -tocoferoles. Otro componente nutricional importante en el maíz son los aminoácidos, los cuales se encuentran en concentraciones que van desde 0.067 g/100g hasta 1.768 g/100g como se observa en el siguiente cuadro en una comparación de dos fenotipos de maíz y dos pastas (Arroyo *et al.*, 2010).

**Cuadro 2.** Contenido de aminoácidos en el maíz

Aminoácidos	Unidades	Maíz blanco (100 g)	Maíz amarillo (100 g)	Pasta de maíz seca (100 g)	Pasta de maíz cocinada (100 g)
<b>Triptófano</b>	g	0.067	0.067	0.053	0.019
<b>Treonina</b>	g	0.354	0.354	0.280	0.099
<b>Isoleucina</b>	g	0.337	0.337	0.267	0.094
<b>Leucina</b>	g	1.155	1.155	0.915	0.322
<b>Lisina</b>	g	0.265	0.265	0.210	0.074
<b>Metionina</b>	g	0.197	0.197	0.156	0.055
<b>Cisteína</b>	g	0.170	0.170	0.134	0.047
<b>Fenilalanina</b>	g	0.463	0.463	0.366	0.129
<b>Tirosina</b>	g	0.383	0.383	0.303	0.107
<b>Valina</b>	g	0.477	0.477	0.378	0.133
<b>Arginina</b>	g	0.470	0.470	0.372	0.131
<b>Histidina</b>	g	0.287	0.287	0.228	0.080
<b>Alanina</b>	g	0.705	0.705	0.558	0.197
<b>Ácido aspártico</b>	g	0.655	0.655	0.519	0.183
<b>Ácido glutámico</b>	g	1.768	1.768	1.400	0.493
<b>Glicina</b>	g	0.386	0.386	0.306	0.108
<b>Prolina</b>	g	0.822	0.822	0.651	0.229
<b>Serina</b>	g	0.447	0.447	0.354	0.125

Fuente: Sánchez Ortega, 2014.

En general, la diferencia más importante entre el maíz blanco y el maíz amarillo es la presencia en el segundo de  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno, luteína/zeaxantina y vitamina A, (cuadro 3). Los carotenoides se encuentran sobre todo en el maíz amarillo mientras que en el maíz blanco tiene cantidades ínfimas. Por otro lado, el maíz amarillo presenta una mezcla de seis a ocho carotenoides diferentes, que le otorgan su color característico (Sánchez Ortega, 2014; Ortiz *et al.*, 2016).

**Cuadro 3.** Contenido de vitaminas en el maíz

Vitamina	Unidades	Maíz blanco (100 g)	Maíz amarillo (100 g)	Pasta de maíz seca (100 g)	Pasta de maíz cocinada (100 g)
<b>Tiamina</b>	mg	0.385	0.385	0.243	0.053
<b>Riboflavina</b>	mg	0.201	0.201	0.087	0.023
<b>Niacina</b>	mg	3.627	3.627	2.430	0.556
<b>Ácido pantoténico</b>	mg	0.424	0.424	0.484	0.128
<b>B6</b>	mg	0.622	0.622	0.206	0.058
<b>A</b>	UI	0	214	170	57
<b>β-caroteno</b>	mg	---	97	---	---
<b>α-caroteno</b>	mg	---	63	---	---
<b>K</b>	g	0	0.3	---	---

Fuente: Sánchez Ortega, 2014.

### 2.1.6. Variedades del maíz

El maíz, como todas las especies, presenta una considerable diversidad de tipos según varios criterios: la constitución del endospermo y el grano, su color, el ambiente de cultivo, la madurez y su uso. Los maíces más importantes en términos económicos son los de tipo harinoso. Dentado y duro. A nivel general se pueden distinguir seis razas originarias del resto de variedades del maíz: *Palomero toqueño* ( de la cual se derivan todas las razas del maíz reventón)), *Complejo Chapalote Nal-Tel* (antecesor de una gran cantidad de razas en México, Colombia y América Central), *raza Pira* ( de la cual derivan todos los maíces duros tropicales de endospermo amarillo), *raza Confite morocho* (de la cual derivan los maíces de ocho hileras), *raza Chullpi* (que dio lugar a los maíces dulces y amiláceos) y la *raza Kculli* (de la cual se derivan todos los maíces con coloración de aleurona y pericarpio). Según la apariencia del grano y el endospermo (variación dentro del grano) se encuentra la siguiente clasificación (Acosta, 2009; Enyisi *et al.*, 2014).

- **Maíz duro** (*Zea mays indurata*): sus granos son redondeados y duros al tacto. El almidón de su endospermo es fundamentalmente vítreo y duro, presentando una madurez temprana y un menor rendimiento. Muy utilizados para la alimentación humana, para hacer fécula de maíz, o para alimentación animal. Presentan una amplia gama de colores y se producen en un área de más de 30 millones de hectáreas en los trópicos.
- **Maíz reventón** (*Zea mays everta*): parecido al anterior, pero con una mayor cantidad de endospermo duro. Los granos son redondos y oblongos, de pequeño tamaño. Cuando se someten a calor son capaces de explotar y producir las denominadas palomitas. Su siembra es a pequeña escala en los trópicos.
- **Maíz dentado** (*Zea mays indentata*): su nombre se debe a que tiene forma de diente. Es el más utilizado para grano y ensilaje. Este tipo de maíz tiene más cantidad de endospermo blando, limitándose el duro solo a ciertas partes del grano. Su endospermo está formado por almidón córneo cristalino. Su cultivo presenta un mayor rendimiento, pero son más susceptibles que los duros a infecciones por hongos e insectos. Ocupa casi 30 millones de hectáreas en los trópicos. Los de color blanco se usan para alimentación humana mientras que los de color amarillo se usan para alimentación animal.
- **Maíz harinoso** (*Zea mays amilacea*): se distribuye por México y a las zonas altas de la región andina. Uno de los maíces con mayor cantidad de almidón blando. Se usa para alimentación humana y para elaboración de bebidas y platos especiales. Presenta una amplia gama de colores siendo muy susceptible a patologías causadas por gusanos o insectos. En este grupo de maíz “Blanco imoerial” o “Blanco gigante del Cuzco”, legado del imperio inca, se distingue por el gran tamaño del grano.
- **Maíz ceroso** (*Zea mays ceratina*). El nombre es debido a la serosidad y opacidad de su endospermo. Su cultivo es muy local y limitado. Su almidón está compuesto exclusivamente por amilopectina que proporciona su característica gomosa, parecido a la yuca.

- **Maíz opaco-2 y MPC:** contiene el doble de aminoácidos esenciales, sobre todo lisina y triptófano, dando un endospermo muy blando. Mediante cruzamientos se han acumulado genes modificadores que han dado un mejor rendimiento denominándose “maíz con proteínas de calidad” (MPC). Se cultiva en Ghana, Brasil, Sudáfrica y China.
- **Maíz dulce (*Zea mays saccharata*):** se cultiva para consumo de mazorcas aún verdes, contiene azúcar de alta calidad. Posee un gen recesivo en el cromosoma 4 que impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón. No suelen cultivarse en zonas tropicales debido a su bajo rendimiento, solo algunas variedades e híbridos se cultivan en el sudeste de Asia.
- **Maíz baby:** las mazorcas se cosechan en etapas tempranas y se utilizan para hortalizas, consumidas frescas o envasadas. Muy cultivados en los trópicos, sobre todo en Tailandia.

En México se encuentran 50 razas, siendo homólogas siete de ellas en Guatemala, seis en Colombia, cinco en Perú y dos en Brasil, lo cual es un argumento más a favor de que México sea el centro de difusión (Álvarez, 2014; Enyisi *et al.*, 2014).

La domesticación del maíz supuso que la especie dependa totalmente del hombre, obteniéndose más de 3 000 razas (Acosta, 2009). La variedad transgénica del maíz MON 810 es la única que se cultiva en la Unión Europea, posee las autorizaciones necesarias para tal fin, aunque no todos los países europeos han autorizado. Esta variedad, comercializada por Monsanto, tiene un gen extraído de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, insertado en la proteína Cry1Ab, que otorga resistencia frente al taladro del maíz. España produce más del 90% del maíz MON 810 cultivado en Europa, teniendo una superficie de cultivo de más de 140 000 hectáreas (Álvarez, 2014; James, 2013).

### 2.1.7. El maíz en México

El cultivo del maíz (*Zea mays*) en México se hace actualmente en un amplio rango de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta los 3,400 msnm. Se

siembra en zonas tórridas con escasa precipitación, en regiones templadas, en las faldas de las altas montañas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico. A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extrema diversidad de maíces nativos (Mota Cruz *et al.*, 2021).

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz, de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría para México. De las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y 5 que fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala-Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se ha colectado o reportado en el país (Mota Cruz *et al.*, 2021).

En México, el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante. Tan solo en este país se han identificado al menos 700 formas de preparar el maíz en la alimentación (Retes Mantilla *et al.*, 2014; Román *et al.*, 2013).

## **2.2. Harina**

Se le conoce como harina al producto que se obtiene de la molienda del endospermo del grano de trigo, de cereales o leguminosas. Si es la harina de todo el grano se denomina integral. En cuanto a las harinas panificables contienen un máximo de 15% de humedad, 9% mínimo de proteína y 30% de acidez grasa. Cabe recalcar que las proteínas que ocupan el 85% son denominadas Gliadinas y Gluteninas; son insolubles y al juntarse con agua llegan a aglutinarse y como resultado forman una malla o red glutínica, solo están presentes en la harina de trigo y centeno, convirtiéndose en harinas panificables (Doporto *et al.*, 2012).

### **2.2.1. Harina de maíz**

Los cereales se componen por el endospermo que es el 83% del peso del grano con la córnea (dura, frágil y traslúcida), por otro lado, está la harinosa (Blanda, opaca y contiene menos proteínas); el germen que ocupa el 10% del peso del grano siendo el que tiene un elevado contenido nutricional rico en minerales, vitaminas, proteínas, aceite y azúcar. Para la obtención de la harina de maíz se realiza la molienda del endospermo del grano en donde el germen y las capas exteriores se remueven; esta puede ser integral presentándose de color amarillo o refinado siendo de color blanco. Se conforma de almidón y zeína a diferencia de las otras harinas carece de gluten por lo que es más recomendada para las personas con intolerancia al gluten o celiacas (López Molina, 2015).

La harina de maíz no contiene gluten, lo cual genera otras características en la masa, en especial en la textura, y por este motivo, en la industria de la panadería, se mezcla con harinas aptas para la panificación. Cabe resaltar que una de sus ventajas es su alto contenido de calcio biodisponible y gran cantidad de fibra, la cual disminuye la capacidad de absorción de grasa llegando en algunos casos a encapsularla, generando un pan diferente la tradicional tanto en la textura de la miga como en la costra, adicionando un color y sabor diferente. Al carecer de gluten, se recomienda a las personas con intolerancia al gluten o celiacas el consumo de los productos elaborados a base de esta harina (Tobar *et al.*, 2019).

### **2.3. Germinación**

Biológicamente, para que una semilla cumpla su objetivo, es necesario que el embrión se transforme en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma, mediante mecanismos metabólicos y morfogenéticos, conocidos como proceso de germinación. El proceso de germinación está constituido por varias fases I) Absorción de agua por la semilla o imbibición; II) Activación del metabolismo proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de

reserva; y III) elongación del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa la emergencia de la radícula (Bewley *et al.*, 2013).

El proceso de germinación está influenciado tanto por factores internos como externos. Dentro de los factores internos están la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dominancia. Algunos de los factores externos que regulan el proceso son el grosor de la testa, disponibilidad de agua, temperatura y tipos de luz (Russo *et al.*, 2010; Parera, 2017).

### **2.3.1. La necesidad de una germinación controlada**

Cuando no se pretende la germinación, por ejemplo, granos como el trigo, la cebada, el arroz, etc., rompen inesperadamente la inactividad y germinan en el campo debido a las lluvias prolongadas antes de la cosecha y la alta humedad, se llama germinación antes de la cosecha (PHS). Los granos que son severamente afectados por el PHS se consideran brotes dañados, como lo demuestran las semillas inflamadas, los gérmenes expuestos y la aparición de puntas de raíz y brotes (Singh *et al.*, 2013).

El trigo severamente germinado solo puede utilizarse para piensos o residuos animales, reduciendo su valor de mercado. La germinación previa a la cosecha también es indeseable en la producción de cebada malteada, lo que resulta en una energía de germinación reducida, bajo extracto y malta de mala calidad. Por lo tanto, un control cuidadoso de las condiciones de germinación es necesario para la germinación del grano (Edney *et al.*, 2013).

La germinación del grano es provocada por factores ambientales externos como la temperatura, la humedad y el oxígeno (Nelson *et al.*, 2013). La germinación controlada implica manipular el proceso de germinación controlando la temperatura, el agua, el oxígeno, la iluminación y la duración de la germinación. Para este propósito, germinación controlada también se refiere a la aplicación controlada de nuevas formas de energía física para estimular la germinación de semillas, con el propósito de mejorar la producción y acumulación de compuestos que promueven la salud. Se emplea una germinación controlada para aumentar el valor nutricional

de los granos germinados, produciendo mejores materias primas/ingredientes para el procesamiento de alimentos (Hu"bner y Arendt, 2013; Singh y Sharma, 2017). Tomando el trigo como ejemplo, mientras que el PHS limita los usos comerciales del trigo, se ha informado de germinación bien controlada para mejorar el estado nutricional y las propiedades funcionales de la harina de trigo (Ding *et al.*, 2018). Con el trigo sometido a una germinación bien controlada, los aumentos en vitaminas (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, C Y E), compuestos bioactivos (incluyendo compuestos fenólicos) (Donkor *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2015), actividad antioxidante (Hung *et al.*, 2011), y fitoestrógenos. Mediante la germinación controlada también se obtienen harinas con propiedades funcionales mejoradas, incluyendo un mayor volumen de pan, mejores características sensoriales, mayor elasticidad y plasticidad para la pasta (Shafgat, 2013), y un mejor rendimiento general para hacer tortillas de trigo integral (Liu *et al.*, 2017).

#### **2.4. Productos de cereales germinados**

El proceso de germinación se ha utilizado ampliamente para producir malta para la industria cervecera y destiladora. La cebada germinada se ha utilizado como un sistema modelo para estudiar la bioquímica y la fisiología de las plantas (Fincher, 2011). Los países asiáticos, incluyendo China, Japón, Corea, Tailandia, India y Malasia, son las principales regiones que utilizan arroz integral germinado en la cocina diaria (Patil & Khan, 2012). Los investigadores han reportado los beneficios de germinar granos incluyendo la mejora en la calidad de la fabricación de los productos (Andersen *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2018), las propiedades fisicoquímicas y la aceptación por parte de los consumidores (Charoenthaikij *et al.*, 2009, 2010, 2012.). Se confirmó que los alimentos procesados a partir de granos de cereales germinados eran ricos en oligosacáridos, aminoácidos, vitaminas y antioxidantes (Singh *et al.*, 2015; Uchegb & Ishiwu, 2016).

Hasta hace un tiempo, no había una definición de granos germinados o germinados, pero en 2008 la Asociación Americana de Químicos de Cereales (AACC) redactó

una definición de granos germinados: “Los granos malteados o germinados que contengan todo el salvado original, germen y endospermo se considerarán granos enteros siempre que el crecimiento de los brotes no supere la longitud de la semilla y que los valores de los nutrientes no hayan disminuido. Muchas empresas de todo el mundo han comenzado a producir productos de granos germinados, ampliando nuestra comprensión tanto de su germinación como del proceso de producción. Para obtener los productos finales germinados, los granos germinados deben secarse suavemente para hacer harinas. El proceso de secado termina los procesos biofísicos y bioquímicos iniciados durante la germinación, y también mejora el sabor del grano y de los productos finales. Los investigadores de la industria han notado que el grado de germinación, el porcentaje de harina germinada en la fórmula y el método de molienda, afectan la calidad final de los productos de grano germinado (Whole Grains Council, 2008).

En los últimos años, los productos de granos germinados han surgido como una nueva adición a la industria alimentaria, debido a su mayor valor nutricional, la mejora de la absorción nutricional (Nelson *et al.*, 2013). Se sabe que los productos de granos germinados tienen mejor sabor, y son más suaves y más dulces (Hübner *et al.*, 2010). El proceso de germinación activa las enzimas latentes, ayudando así a aumentar la digestibilidad de los granos. Durante la germinación del grano aumenta la disponibilidad de azúcares reductores, aminoácidos libres incluyendo lisina (Tian *et al.*, 2010), fibra dietética soluble, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Hung *et al.*, 2011; Uchegb & Ishiwu, 2016).

## **2.5. Alimentos funcionales**

Un alimento puede ser considerado funcional cuando está significativamente demostrado que afecta de manera benéfica a una o varias funciones del organismo, aparte de sus efectos nutricionales propios, de tal forma que mejora el estado de bienestar y salud y disminuye el riesgo de enfermedad. Un alimento funcional debe

quedar como un alimento y desarrollar sus efectos desde cantidades consumidas en un régimen considerado como normal (Mex-Álvarez *et al.*, 2013).

En síntesis, las características específicas de un alimento funcional son:

- Ser un alimento convencional cotidiano.
- Ser consumido como parte de un régimen normal.
- Estar compuesto de ingredientes naturales y no sintéticos, a concentraciones no encontradas en la naturaleza o presentes en los alimentos que normalmente no lo contienen.
- Tener efectos positivos sobre una o dos funciones claras, además del valor nutritivo, siendo estos efectos el poder aumentar el bienestar y la salud o reducir los riesgos de enfermedad o aportar un beneficio para la salud.

Un alimento funcional debe ser: un alimento natural al que se le añade o elimina un componente; un alimento al que se le modifican sus componentes o se mejora su biodisponibilidad (Calvo Bruzos *et al.*, 2012; Mex-Álvarez *et al.*, 2013).

#### **2.5.1. Componentes bioactivos de alimentos a base de maíz**

El maíz contiene fitoquímicos que se pierden parcialmente durante el almacenamiento, la molienda y el procesamiento. Además de los atributos nutricionales del maíz y sus productos contiene una variedad de componentes funcionales como fenoles, carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados, fosfolípidos, fitoesteroles, y otros nutrientes menores como ácido fólico, policosanoles y tocoferoles. La mayoría de estos compuestos químicos ejercen propiedades antioxidantes (AOX) y por lo tanto previenen el estrés oxidativo, considerado la principal causa de la mayoría de las enfermedades crónicas. El principal compuesto fenólico es el ácido ferúlico, el cual es conocido como un AOX, antiinflamatorio y anticancerígeno (Serna-Saldivar *et al.*, 2015; Sharif *et al.*, 2014).

El delicado equilibrio entre los radicales libres y los AOXs se puede controlar eficazmente mediante la intervención de la dieta. Así, la nueva tendencia en la industria procesadora de cereales es el desarrollo de alimentos funcionales o

nutracéuticos. Entre los componentes bioactivos más importantes se encuentran los siguientes (Guillén-Sánchez *et al.*, 2014):

#### **2.5.1.1. Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos presentes en el maíz actúan como antioxidantes, secuestrando especies reactivas de oxígeno e inhibiendo las enzimas que producen los radicales libres. Estos fitoquímicos se pueden dividir en tres categorías principales: fenoles simples, flavonoides y taninos, aunque la última clase no está presente en el maíz. Los fenoles se derivan generalmente de los ácidos benzoico o cinámico, mientras que los flavonoides, incluyendo antocianinas, se construyen a partir de dos unidades: un componente  $C_6C_3$  de cinámico y un fragmento  $C_6$  de malonilcoenzima A. La mayoría de los fenoles asociados con el maíz están presentes en las paredes celulares en el pericarpio y en la capa de aleurona (Atmani *et al.*, 2011).

La mayor parte de la capacidad del AOX en cereales es ejercida por los diversos tipos de compuestos fenólicos. Aproximadamente el 80% de la capacidad de AOX asociada a los granos crudos o sus productos se debe a las mitades ligadas (Atmani *et al.*, 2011).

#### **2.5.1.2. Antocianinas**

Dentro de los compuestos fenólicos tenemos a las antocianinas; concretamente pigmentos hidrosolubles ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Las antocianinas son una clase de flavonoides responsables de colores atractivos como el rojo, naranja, púrpura y azul. Se sabe que los granos de maíz rojo, azul y púrpura pigmentados contienen cantidades significativas de estos antioxidantes. Estas moléculas se diferencian de otros flavonoides porque contienen una carga positiva neta en soluciones ácidas. Entre las antocianinas de importancia se encuentran los acilados, ubicados principalmente en la capa de aleurona del endospermo (Aguilera *et al.*, 2011).

El color de las antocianinas depende de varios factores intrínsecos, por ejemplo, los sustituyentes glicosídicos en las posiciones 3 o 5 con mono, di o trisacáridos y de

acilación incrementando su solubilidad. El efecto antioxidante de las antocianinas se atribuye específicamente a la presencia de grupos hidroxilos en las posiciones 3 del anillo C y 3, 4 y 5 del anillo B. En general, el efecto antioxidante de las antocianinas (agliconas) es superior al de las formas glicosiladas y disminuye a medida que el número de residuos de carbohidratos es mayor en la molécula. Los resultados acumulativos de estudios epidemiológicos, *in vitro* e *in vivo* sugieren una relación inversa entre el consumo de antocianinas y la incidencia de diversas enfermedades crónicas y degenerativas. Estos beneficios para la salud se han atribuido a la alta actividad antioxidante y actividades antirradicales (Aguilera *et al.*, 2011).

Se han realizado experimentos con ratas de laboratorio alimentadas con naftalenos clorados a partir de maíz púrpura rico en cianidina-3-glucósido, y se ha concluido que las antocianinas pueden considerarse aditivos funcionales para prevenir la obesidad, la diabetes y el síndrome metabólico. Los efectos positivos *in vitro* de los naftalenos clorados se han demostrado contra las células cancerosas de colon, endoteliales y hepáticas. Además, las antocianinas estimulan el sistema enzimático protector de fase II glutatión peroxidasa, glutatión reductasa, y glutatión S-transferasa a través de la activación del elemento de respuesta antioxidante (Serna-Saldivar *et al.*, 2015; Guillén-Sánchez *et al.*, 2014).

### **2.5.1.3. Carotenoides**

Otro grupo relevante de antioxidantes son los carotenoides. Los carotenoides son poliisopropenoides que contienen 40 carbonos que proporcionan el color amarillo al endospermo de los granos de cereales. Los hidrocarburos carotenoides, conocidos como carotenos, son los precursores biosintéticos de las plantas de los derivados oxigenados llamados xantofilas. La absorción de estos compuestos no está regulada; por lo tanto, su concentración en la sangre y los tejidos periféricos refleja la ingestión (Bello- Pérez *et al.*, 2016).

El principal papel funcional de los carotenoides en los seres humanos es la protección molecular contra los radicales libres. Desde el punto de vista nutricional,

el metabolito más importante es el  $\beta$ -caroteno porque una molécula se convierte en el sistema humano en dos de la forma activa de vitamina A, el retinol. La ingesta de  $\beta$ -carotenos se asocia con un menor riesgo de cáncer y otras enfermedades crónicas, una mejor visión y mejor funcionamiento del sistema inmunitario (Santander *et al.*, 2017).

Los carotenoides son más abundantes en el maíz amarillo, la distribución de los carotenoides en el maíz amarillo es de 74-86% en el endospermo córneo, 9-23% en el endospermo harinoso, 2.4% en el germen y solo 1% en el pericarpio. Los tipos predominantes en el maíz son la luteína (2.33 mg/kg) y la zeaxantina (0.6-27 mg/kg), seguidos por los  $\beta$ -carotenos (0.1-5.4 mg/kg) (Serna-Saldivar *et al.* 2015; Bello-Pérez *et al.*, 2016).

## **2.6. Galletas**

Las galletas son una familia de productos pequeños, planos, horneados, dulces o salados, históricamente se cocinaban dos veces para proporcionar un alimento muy seco con una larga vida útil. La harina de trigo es el ingrediente más común, sin embargo, pueden ser de otras especies de cereales como la avena y el maíz. Las galletas son a menudo químicamente fermentadas y otras son fermentadas por levadura. Los ingredientes principales son: harina, azúcar, manteca, emulsionantes y agua, cada uno con un papel específico. Los ingredientes menores incluyen sal, sabores, colores, huevos, productos lácteos, malta y agentes fermentantes. El proceso de horneado suele ser rápido, dada su forma plana, lo que resulta en la pérdida de agua y reducción de peso (Marquina Berenguer, 2022; Caballero *et al.*, 2011).

Existe una gran diversidad de productos horneados en la familia típica de las galletas, esta diversidad es evidente en los estantes de un supermercado. Estos productos también son fáciles de elaborar en casa debido a su simplicidad. Se caracterizan por un bajo contenido de humedad (inferior al 5%) y una base de harina

de cereales de al menos el 60%. En su elaboración se añade agua, pero por lo general mucho menos que para panes y pasteles (Marquina Berenguer, 2022).

Como se utiliza universalmente, las galletas ya no tienen la connotación dos veces horneada, pero originalmente, esta forma de preparación se aplicó literalmente. Después de la cocción inicial, el producto se secaba aún más en un horno lento para garantizar un producto muy seco, lo que aseguraría una larga vida útil. La galleta fue el resultado de ese método de cocción, se horneó más de dos veces para garantizar una larga vida de anaquel. El bajo contenido de humedad de en las galletas implica que estos productos tienen un riesgo relativamente bajo de deterioro por microorganismos (Zydenbos *et al.* 2016; Caballero *et al.*, 2011).

### **2.6.1. Clasificación de las galletas**

#### **2.6.1.1. Galletas saladas**

Los atributos que distinguen a las galletas saladas son los niveles muy bajos de grasa y azúcar. A menudo se utilizan como base para el aderezo, queso, aunque las galletas que se elaboran en la actualidad, con sus recubrimientos y sabores, se pueden comer sin adiciones. Las galletas saladas pueden subdividirse en aquellas que son fermentadas mediante microorganismos y las que son fermentadas químicamente (Puma Isuiza *et al.*, 2018).

Algunas galletas saladas tienen una cantidad significativa de bicarbonato de sodio añadido a la masa (1%), lo que aumenta la alcalinidad y esta es la razón del nombre de la galleta. Este producto es bastante escamoso pero crujiente. Debido a que estas galletas son bastante secas y blandas, por lo general no se comen solas y a menudo se utilizan como un acompañamiento de sopas (Ramos Flores, 2021).

Otro tipo de galletas saladas son las llamadas “galletas de crema”, a pesar de su nombre, las galletas de crema no contienen crema, tienen un contenido de grasa ligeramente superior (12-18%) que otras galletas saladas. Este tipo de galletas de tiene un contenido de humedad final de 3-4%, que es bastante alto para una galleta, y junto con el aumento de contenido de grasa, la galleta es relativamente suave, no se desmorona y se derrite en la boca (Zydenbos *et al.*, 2016). Por otra parte, las

llamadas galletas de soda se elaboran generalmente mediante la secuencia de cinco pasos: mezclado, esponje, reposo, laminado y horneado. La etapa de esponje de este tipo de galletas es de los más tardados ya que la fermentación inicial demora entre 18 y 20 horas (Cárdenas, 2017).

#### **2.6.1.2. Galletas hechas con masas duras**

En este tipo de galletas la red de gluten está relativamente bien desarrollada mediante la mezcla, las cantidades más elevadas de azúcar (alrededor del 20% de la harina) y grasa (16-20%) que en masas de galletas hacen el gluten menos elástico y más extensible. Los productos químicos como el metabisulfito de sodio u otros derivados químicos del dióxido de azufre, también se pueden emplear para acondicionar la masa para facilitar el procesamiento. A diferencia de las masas de otras galletas, la mayoría de las masas de galletas dulces y semidulces son de “levadura” química. Existen algunas variaciones de galletas dulces y semidulces, como las que se procesan después de hornearse para incorporar un sándwich de cema o una capa de chocolate y otras pueden ser rellenas (Zydenbos *et al.* 2016; Han *et al.*, 2010).

#### **2.6.1.3. Galletas hechas de masas cortas**

La mayoría de las galletas consumidas en todo el mundo están hechas de masas cortas, por lo tanto, la gama de formas, tamaños, sabores e ingredientes es enorme. Las fórmulas son proporcionalmente variables, pero hay algunos requerimientos a respetar. La harina suele contener menos de 9.5% de proteína. Las masas cortas generalmente se mezclan en un proceso de dos etapas con una crema inicial de la grasa y el azúcar, aunque las técnicas modernas tienden a utilizar el método de mezcla de todo en uno. Las masas son cohesivas y plásticas, pero carecen de extensibilidad y elasticidad. A diferencia de las masas duras, que tienden a encogerse durante la cocción, las masas cortas y suaves generalmente se propagan debido al alto contenido de azúcar y grasa (Zydenbos *et al.*, 2016; Davidson, 2018).

#### **2.6.1.4. Galletas hechas de masas blandas**

Las masas blandas tienen una consistencia vertible, son típicamente ricas en grasa (65-76% del peso de la harina), y pueden basarse en claras de huevo batidas (15-

25%). El azúcar es 35-40% del peso de la harina. Se utiliza harina débil, y la mezcla se lleva a cabo en un proceso de dos etapas. La harina y otros ingredientes secos se añaden al final, y solo se realiza una mezcla mínima para evitar que la masa se vuelva dura. A menudo, ingredientes como almendras molidas, harina de coco o cacao, se utilizan en este tipo de masas. Las galletas de masa blanda tienen una textura suave y delicada y una sensación de que se derriten en la boca. Sin embargo, estas propiedades las hacen frágiles y expuestas a roturas, y el envasado también puede ser difícil debido a las formas irregulares (Zydenbos *et al.*, 2016; Paulson & Wringley, 2016).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento experimental del presente estudio fue llevado a cabo en el Laboratorio 1 del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y en el Laboratorio de Bioquímica del Departamento de Ciencias Básicas en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Saltillo, Coahuila, México.

#### Equipos:

- Horno de cocción
- Báscula analítica AND EJ-10
- Báscula analítica OHAUS
- Báscula analítica Rhino BAPRE-3
- Estufa NOVATECH
- Mufla Thermo Scientific
- Aparato de digestión y destilación Kjeldahl
- Equipo Soxhlet
- Digestor LABCONCO
- Penétrometro EXTECH
- Colorímetro Minolta CR-400
- Higrómetro WA-60<sup>a</sup>
- Centrífuga DLAB
- Espectrofotómetro GENESYS 10<sub>UV</sub>

#### Ingredientes:

- Maíz
- Polvo para hornear
- Huevo
- Stevia
- Canela en polvo
- Nuez molida
- Bicarbonato de sodio
- Mantequilla

### Materiales:

- Charolas de plástico
- Papel secante
- Gasa
- Papel aluminio
- Marco para cortar galletas
- Mortero
- Crisoles
- Rodillo de cocina
- Papel aluminio
- Vasos de precipitado de 80 mL PYREX, 40 mL, 50 mL y 250 mL KIMAX
- Embudos
- Matraz Kjeldahl de 800 mL
- Perlas de vidrio
- Papel filtro
- Matraces bola de 500 mL
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL y 500 mL KIMAX
- Matraces de aforación de 100 mL KIMAX
- Tubos de ensaye
- Gradillas
- Pipeta graduada de 10 mL
- Probeta graduada de 50 mL y 100 mL
- Pizeta
- Embudo de separación de 250 mL
- Celdillas para espectrofotómetro

### Reactivos:

- Hexano
- NaOH 0.313 N
- NaOH al 40%
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Ácido bórico 4%
- Indicador mixto
- Mezcla de selenio
- Agua destilada
- Acetona
- Reactivo férrico
- Metanol al 85% (v/v)
- Solución de Folin Ciocalteu (SIGMA)
- Solución de carbonato de sodio al 0.01 M
- Ácido clorhídrico 3 N
- Peróxido de hidrógeno al 30%
- Éter de petróleo total
- Fenoltaleína al 1%
- Sulfato de sodio al 10%

### **3.1. Germinación del maíz**

Se procedió a la desinfección de la semilla en una solución de cloro al 1% durante 1 minuto, posteriormente se lavó con agua destilada y se dejó secar. Las semillas se colocaron dispersas sobre papel absorbente húmedo en charolas extendidas, se colocaron en un lugar cálido a una temperatura de 26 °C y se estuvo monitoreando que la humedad se mantuviera todos los días rociando agua con un atomizador en caso de que hiciera falta durante dos semanas hasta que aparecieron los brotes.

Las semillas germinadas se secaron en una estufa y posteriormente se molieron para la obtención de la harina.

### **3.2. Elaboración de las galletas**

Para la elaboración de las galletas se mezcló la mantequilla con Stevia, bicarbonato de sodio, canela molida, polvo para hornear hasta conseguir una masa uniforme, después se añadió huevo y se mezcló nuevamente y por último se añadió la harina hasta que todo se combinara adecuadamente. Se usó un cortador de galletas de metal para darle forma a las galletas, se colocaron en el horno a 180 grados durante 13 minutos.

### **3.3. Análisis bromatológico**

#### **3.3.1. Determinación de humedad**

Se pesaron 2 gramos de muestra y se colocaron en el crisol (peso constante), se colocaron en la estufa durante 12 horas, El porcentaje de humedad se obtuvo mediante el cociente entre el peso de la muestra seca sobre el peso de la muestra inicial y multiplicando por 100.

#### **3.3.2. Determinación de grasa**

Este análisis se llevó a cabo por el método Soxhlet. Se colocaron los matraces bola de fondo plano con tres perlas de vidrio en la estufa marca NOVATECH durante 12 horas para estar a peso constante, se agregaron 250 mL de hexano, en un papel filtro se pesaron 4 g de muestra molida, se colocaron en un dedal de asbesto doblando con cuidado el papel que contenía la muestra, el dedal se colocó en el

sifón Soxhlet, junto con el matraz bola del refrigerante, se encendió la parrilla y se abrió la llave del agua, se dejó sifoneando durante 8 horas, con cuidado se retiró el dedal con pinzas, se recuperó el solvente colocando el matraz en la estufa, el matraz con la muestra se dejó en la estufa durante 24 horas, posteriormente se extrajo, se dejó enfriar y se pesó. El porcentaje de grasa extraída se obtuvo mediante el cociente entre el peso de muestra extraída sobre el peso de la muestra inicial y multiplicando por 100.

### **3.3.3. Determinación de cenizas**

De las muestras obtenidas en el procedimiento para determinar la humedad se pesaron 2 g, se trabajó con los mismos crisoles a peso constante, se incineró la materia orgánica en equipo de digestión Kjeldahl como pretratamiento para posteriormente pasarlo a la mufla marca BLUEM a 600 °C durante 3 horas. El porcentaje de cenizas se obtuvo mediante el cociente entre el peso de la ceniza obtenida sobre los gramos de muestra inicial y multiplicando por 100.

### **3.3.4. Determinación de fibra cruda**

Se pesaron 2 g de muestra sin grasa (el sobrante obtenido en el procedimiento para determinación de grasa) y se colocaron en un vaso de precipitado de 600 mL, se agregó 10 mL de ácido sulfúrico 0.255 N y se colocó en el equipo digestor LABCONCO CORPORATION durante 30 minutos en ebullición. Posteriormente se retiró el vaso del equipo, la muestra se filtró mediante tela de lino y se lavó con agua destilada caliente. Se vació la muestra del filtro a un vaso de precipitado, se agregaron 100 mL de hidróxido de sodio 0.313 N, se colocó en el equipo digestor, a partir de que la muestra empezó a hervir se tomó el tiempo de 30 minutos, posteriormente se retiró la muestra, se filtró y se lavó con agua destilada caliente nuevamente. La muestra se dejó en la estufa durante 24 horas a 90 °C, posteriormente, se tomó el peso. Como último paso se calcinó la muestra en un horno mufla a 600 °C durante dos horas y se tomó el peso. La pérdida de peso debido a la calcinación indica el contenido de fibra cruda de la muestra.

Cálculos:

$$\%FC = \frac{(\text{peso de crisol estufa} - \text{peso de crisol mufla})}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

### 3.3.5. Determinación de proteína cruda

Se determinó el contenido de proteína en las galletas mediante el método Kjeldahl. Como primer paso se pesó 1 gramo de muestra previamente molida en papel filtro, la muestra se colocó en un matraz Kjeldahl, se agregó una cucharada de muestra de selenio (catalizador), se agregaron perlas de vidrio, posteriormente se agregaron 30 mL de ácido sulfúrico concentrado. El matraz se colocó en el digestor Kjeldahl, se encendió la parrilla entre 4-5 minutos, se enfrió el matraz colocándolo en la llave con cuidado, se agregaron 300 mL de agua destilada. En un matraz Erlenmeyer se agregaron 50 mL de ácido bórico, se añadieron 3 gotas de indicador mixto y se colocó la manguera del destilador Kjeldahl dentro del matraz. Se agitó el matraz para que se disolviera bien la muestra, se abrió la llave del agua y se colocó el matraz con cuidado, procurando no agitar el matraz, se agregó lentamente por las paredes del matraz 110 mL de hidróxido de sodio al 40%, y polvo de zinc. Después del destilado los matraces se titularon con ácido sulfúrico al 0.1 normal. Se obtuvo el porcentaje de Nitrógeno mediante la fórmula:

$$\% N = \frac{(ml \text{ gastados de } H_2SO_4)(Normalidad \text{ del } H_2SO_4)(0.014)}{g \text{ de muestra}} \times 100$$

Y se obtuvo el porcentaje de proteína mediante la fórmula:

$$\% P = (\%N) (6.25)$$

## 3.4. Análisis físico

### 3.4.1. Color

La medición del color se llevó a cabo mediante un colorímetro digital, colocándolo sobre la muestra y tomando la lectura en la escala de CIELab L\* a\* b\*, lo que nos permitió ubicar el color en la gráfica, empleando un colorímetro Minolta CR-400, las lecturas se realizaron por triplicado (Huaraca Aparco *et al.*, 2021).

### 3.4.2. Firmeza

Esta característica se analizó con la ayuda de un penetrómetro marca EXTECH, el aparato se colocó sobre la muestra y se ejerció presión hasta triturarla, se registró la lectura en Newtons y se realizó por triplicado.

### **3.4.3. Actividad de agua ( $A_w$ )**

Para llevar a cabo la medición de la actividad de agua de las galletas se utilizó un higrómetro WA-60A, el cual se colocó sobre la muestra, se presionó el botón para tomar la lectura y el valor obtenido se registró, realizando esto por triplicado.

## **3.5. Análisis de los componentes bioactivos**

### **3.5.1. Determinación de polifenoles hidrolizables**

Se realizó la prueba para determinar el contenido de polifenoles hidrolizables por el método Folin-Ciocalteu. Se pesó un gramo de muestra, se depositó en un tubo de ensayo (seco), se adicionaron 10 mL de solución de acetona (70:30) agua destilada, se agitó por un minuto en vortex a 5 000 rpm para obtener una muestra homogénea y se dejó reposar durante una noche en refrigeración evitando la exposición de la luz (se forró el tubo con papel aluminio).

La muestra que se reposó toda la noche se centrifugó por 20 minutos a 3 000 rpm, se tomaron 400  $\mu$ l del líquido sobrenadante para el análisis de fenoles, se colocó en un tubo de ensayo, se adicionaron 400  $\mu$ l del reactivo Folin-Ciocalteu, se agitó para homogeneizar y se dejó reposar por 5 minutos, posteriormente se agregaron 400  $\mu$ l de carbonato de sodio 0.01 M, se agitó y se dejó reposar nuevamente por 5 minutos, después se adicionaron 2 mL de agua destilada e inmediatamente se leyó en el espectrofotómetro GENESYS 10<sub>uv</sub> a 725 nm y se registró la lectura (Abs).

### **3.5.2. Determinación de flavonoides**

El análisis de flavonoides o taninos condensados se llevó a cabo mediante la técnica HCL-Terbutanol. Para la obtención de la muestra colocó 1 gramo de la muestra de galletas en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, posteriormente se agregaron 50 mL de agua destilada a 60 °C y se homogeneizó, después se colocó dentro de la estufa a 60 °C, agitando antes de ponerlo dentro de la estufa y 15 minutos después, pasado el tiempo se filtró la muestra a través de una gasa de poro abierto, la muestra obtenida se colocó en tubos de ensayo protegiéndolos con papel aluminio y se guardó en refrigerador durante una noche.

A continuación, se tomó 1 mL del líquido anterior, se agregaron 6 mL de HCL-Terbutanol, 0.2 mL de reactivo férrico, se cerró herméticamente, se calentó en baño maría a 100 °C durante 1 hora, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se procedió a realizar la lectura en el espectrofotómetro GENESYS 10<sub>uv</sub> a 460 nm, las lecturas obtenidas se registraron en mg/g, en equivalentes de catequina.

### **3.5.3. Determinación de antocianinas**

Se pesaron 0.25 g de muestra y se le agregó la solución extractora de antocianinas hasta cubrir la muestra, se tapó con papel aluminio y se dejó reposar por 24 horas en refrigeración.

Posteriormente la muestra obtenida se transfirió en un mortero y se trituró, se filtró a través de una gasa y se recogió el filtrado en un matraz de aforación de 100 mL. La muestra se lavó y maceró con 20 mL de solución extractora de antocianinas, el líquido se recuperó en el matraz de aforación de 100 mL filtrando a través de la gasa, se aforó con la solución extractora de antocianinas. Se colocaron 2 mL de la muestra aforada en una celdilla para espectrofotómetro y se agregó 1 mL de peróxido de hidrógeno al 30 % (agua oxigenada al 30 %) se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 525 nm. Se calculó el contenido de antocianinas mediante la siguiente fórmula:

$$mg * 100 g \text{ de muestra} = \frac{50 * Abs \ 525 \ nm}{0.405 * P}$$

Donde:

Abs= lectura de absorbancia a una longitud de onda de 525 nm

P = peso de la muestra

### **3.5.4. Análisis de carotenoides**

Este análisis únicamente se llevó a cabo en el maíz amarillo ya que son los pigmentos naturales de este tipo de semilla. Para este procedimiento se pesó un gramo de muestra y se colocó en un vaso de precipitado, se agregó acetona hasta cubrir la muestra, se tapó con papel aluminio y se dejó reposar por 24 horas en refrigeración. Posteriormente la muestra se transfirió a un mortero y se trituró, se transfirió el líquido filtrando a través de una gasa a un embudo de separación, la

muestra se lavó con 80 mL de acetona y se recuperó el líquido en el embudo de separación filtrando a través de la gasa, se agregaron 20 mL de éter de petróleo y 100 mL de agua destilada, se mezcló suavemente y se dejó reposar hasta la separación de dos capas, se separaron las dos capas. Posteriormente se añadió 10 mL de NaOH al 40 % y se mezcló suavemente, se lavó con porciones de 50 mL de agua destilada hasta eliminar completamente el NaOH al 40 %, se utilizó como indicador fenolftaleína, se agregaron 20 mL de sulfato de sodio al 10 % y se mezcló suavemente, se dejó reposar y se desechó la capa inferior, este paso se repitió dos veces más. Posteriormente la muestra se filtró a través de una gasa, el líquido se recuperó en una probeta de 100 mL (completamente seca) y se registró el volumen, se colocó un volumen aproximado de 3 mL de la muestra en una celdilla para espectrofotómetro y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 454 nm utilizando como blanco éter de petróleo. El contenido de carotenoides totales se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$mg/100g = \frac{Abs\ 454 * 3.857 * V * 100}{P}$$

Donde:

Abs = Absorbancia a una longitud de onda de 454 nm

V = Volumen medido en la probeta en mL

P = Peso de la muestra en g

### **3.6. Determinación de actividad antioxidante**

Esta determinación se llevó a cabo por el método ABTS. Para la preparación de la muestra se utilizó un gramo, se homogeneizó con 10 mL de metanol al 80 % en un agitador (Burrell Scientific Wrist Action) durante 30 minutos en ausencia de luz. Posteriormente, se centrifugó (ThermoFisher Scientific) a 3,000 rpm, a 25 °C durante 20 minutos. El precipitado fue descartado y el sobrenadante fue utilizado para cuantificar fenoles totales y actividad antioxidante (Almindis-Echeverría *et al.*, 2020).

Las mediciones se realizaron a una longitud de onda de 734 nm a los 3 minutos de reacción y a temperatura ambiente. Los resultados se expresaron mediante la

construcción de una curva patrón usando como antioxidante Trolox (0-200 µmil/L). Para analizar los datos se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición (\%)ABT} = \frac{(\text{absorbancia solución control radical (ABTS: Ao)} - \text{absorbancia muestra (Af)})}{\text{absorbancia solución control radical (ABTS: Ao)}} \times 100$$

Donde:

Ao = absorbancia solución radical ABTS (blanco)

Af = Absorbancia muestra

### **3.7. Análisis sensorial**

Para el análisis sensorial se empleó una prueba hedónica con una escala de 7 puntos donde 1 es el de menor nivel de agrado y 7 el de mayor nivel de agrado, en la que participaron 15 panelistas consumidores y entrenados. Los atributos evaluados fueron: apariencia global, color, olor, sabor, firmeza y aceptación global.

Ante los jueces se colocaron las 4 muestras a evaluar, un vaso de agua para enjuagarse la boca y un vaso para desecho. Los jueces analizaron cada muestra de acuerdo con las seis características en cuestión. Cada juez dio a cada muestra una calificación de acuerdo al nivel de aceptación, al final cada juez anotó un comentario sobre las muestras en general, enfocándose en las características analizadas y emitiendo una opinión de acuerdo a su percepción del producto o haciendo una sugerencia de mejora.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los valores obtenidos en el presente estudio fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias de Fisher donde se pudo detectar si existe o no diferencia significativa con una  $p \leq 0.05$ . Los parámetros analizados fueron porcentaje de humedad, grasa, cenizas, fibra y proteína cruda; características físicas (color, firmeza y Actividad de agua); componentes bioactivos (polifenoles, flavonoides, antocianinas, carotenoides para la variedad amarilla y la actividad antioxidante) y para la evaluación sensorial se evaluaron los atributos de apariencia global, color, olor, sabor, firmeza y aceptación global empleando una prueba hedónica. El software empleado para el análisis de datos es el paquete estadístico InfoStat versión 2020.

Las cuatro formulaciones se llevaron a cabo a base de maíz procedente de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de dos colores distintos; amarillo y rojo, de cada variedad se obtuvieron dos formulaciones, las muestras control contienen harina de maíz sin germinar y los tratamientos contienen harina de maíz germinado. Cada determinación se realizó por triplicado.

En el siguiente Cuadro se identifican las cuatro formulaciones que se analizaron:

**Cuadro 4.** Identificación de las formulaciones considerando la harina con la que fueron elaboradas las galletas

<b>Código</b>	<b>Galleta</b>
<b>CA</b>	Maíz amarillo
<b>TA</b>	Maíz amarillo germinado
<b>CR</b>	Maíz rojo
<b>TR</b>	Maíz rojo germinado

#### **4.1. Formulación**

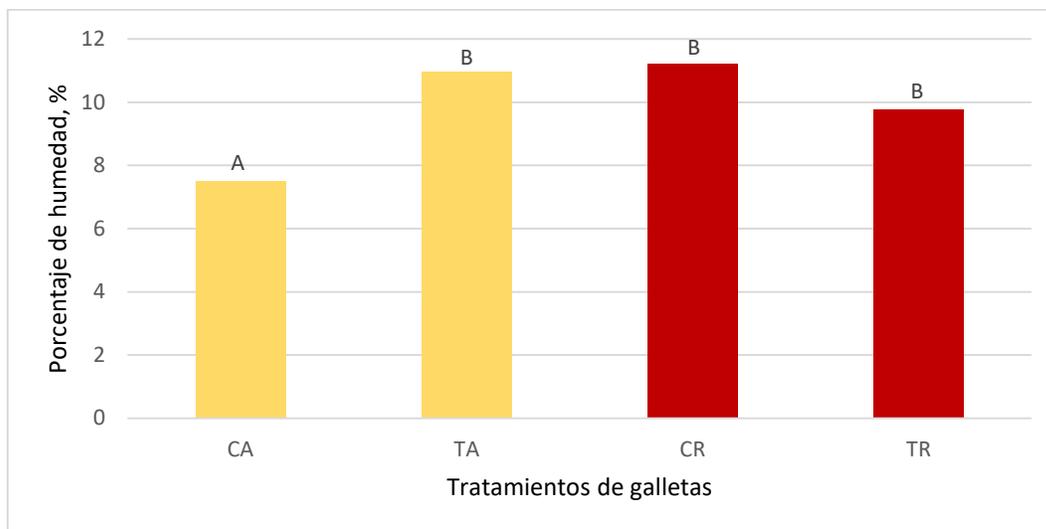
Para la elaboración de las galletas se emplearon 100 g de harina de maíz germinado, 20 g de mantequilla, 3 g de Stevia como endulzante, 0.25 g de bicarbonato de sodio como agente leudante (Badui Dergal, 2013), 2 g canela molida, 2 g de polvo para hornear, 20 g de nuez molida y 30 g de huevo batido. Esta

formulación fue la óptima para que al tener la masa extendida se pudiera realizar el corte de las galletas sin que estas se desmoronaran, ya que, al carecer de gluten en la mezcla, las galletas se desmoronan con facilidad. Las galletas ya formadas con la masa se hornearon a 180 grados durante 13 minutos.

## **4.2. Análisis bromatológico**

### **4.2.1. Determinación de humedad**

Los resultados obtenidos en la comparación de medias (ANOVA) nos indican que la muestra control CA (galleta elaborada con harina de maíz sin germinar) es la única que presenta diferencia significativa de las cuatro muestras estudiadas. El contenido de humedad en las galletas excedió el máximo permitido para las denominadas galletas entrefinas que es del 8% (NMX-F-006-1983), a excepción de la muestra CA, la cual mostró el contenido de humedad más bajo de las cuatro muestras con 7.5%, tal como se muestra en la Figura 1. Por otro lado, la muestra control de la variedad roja (CR) mostró el contenido de humedad más alto de las cuatro muestras analizadas con un 11.22%. Estos valores son superiores en comparación por los reportados por Moralejo Carral, (2019) para galletas elaboradas a base de harina de maíz blanco donde el valor mínimo fue de 6.03% y el máximo de 6.71%.

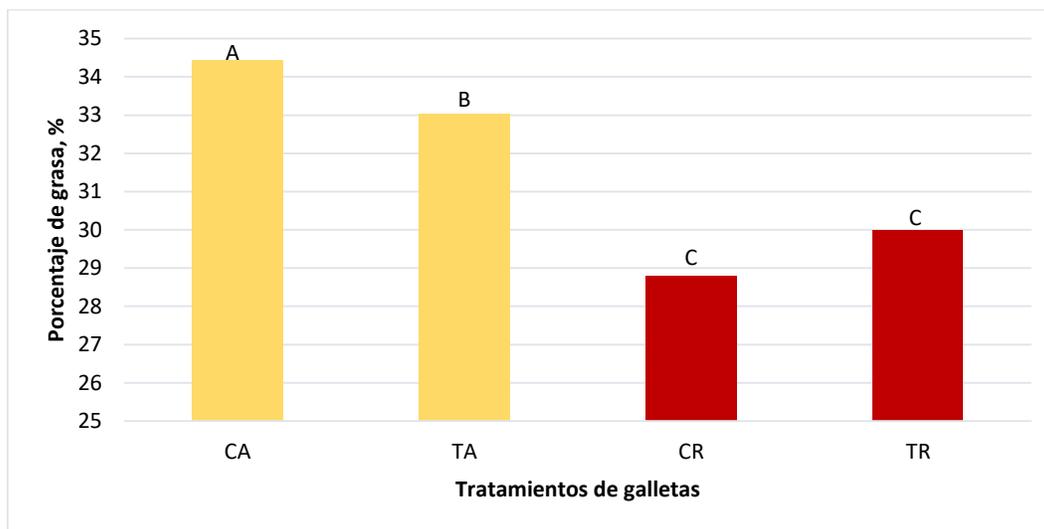


**Figura 1.** Medias del porcentaje de humedad de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.2.2. Determinación de contenido de grasa

El contenido de grasa en las galletas presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las muestras elaboradas a base de harina de maíz amarillo (CA y TA), entre sí mismas y frente a las elaboradas a base de harina de maíz rojo (CR y TR) como se observa en la Figura 2 mediante las letras iguales o diferentes para cada muestra. Las galletas mostraron un alto contenido de grasa (28.79% - 34.44%), en comparación con galletas de otros cereales como las galletas comerciales de avena con chocolate QUAKER® que contienen 17.7 % de grasa (Open food facts, 2022), siendo el tratamiento de color amarillo (TA) que mostró un contenido inferior al control (CA), mostrando una característica favorable pues la ingesta de este producto no implica el aporte de grandes cantidades de ácidos grasos al organismo, ya que el producto funcional debe ser más saludable. Por otro lado, el tratamiento de color rojo (TR) mostró mayor contenido de grasa en comparación con el control (CR). El contenido de grasa varía entre variedad, coloración de maíz y tratamiento; con la germinación se lleva a cabo el desdoblamiento de grasa en ácidos grasos, entre estos, ácidos grasos volátiles, los cuales presentan una disminución durante

el tratamiento (Casas *et al.*, 2016). Los resultados que reporta Silva Lizárraga, (2021) para galletas elaboradas a base de maíz blanco son inferiores, ya que reportó un contenido de grasa del 11.2%, percibiendo una diferencia de 17.59 % tomando en cuenta el valor mínimo obtenido el presente estudio que fue para la galleta elaborada a base de maíz rojo (CR) con 28.79%.

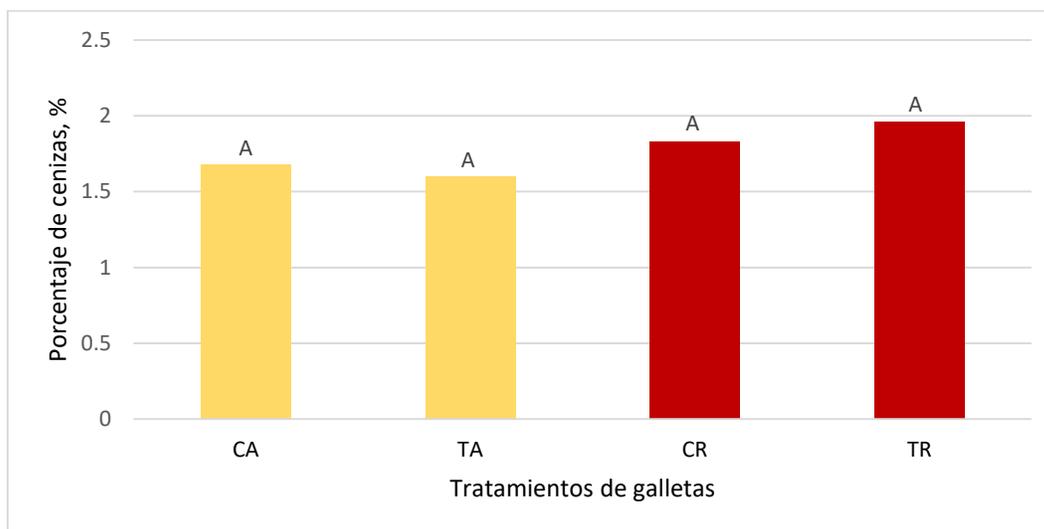


**Figura 2.** Medias del porcentaje de grasa de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.2.3. Determinación de cenizas

En la Figura 3 se muestran los valores obtenidos en cuanto al contenido de cenizas de las galletas, estos valores se mantuvieron por debajo del 2%, el máximo valor contemplado para las denominadas galletas entrefinas (NMX-F-006-1983), así mismo podemos observar que no existen diferencias significativas entre las cuatro muestras en la comparación de las medias obtenidas con una  $P > 0.05$ . La galleta elaborada a base de maíz germinado de color amarillo (TA) mostró el más bajo contenido de cenizas con 1.6% y la galleta elaborada a base de maíz germinado de color rojo (TR) dio el más alto contenido de cenizas con 1.95%, apenas 0.05% por debajo del límite contemplado por la norma. En un estudio realizado por Carrasco & Sánchez, (2020), se obtuvo un valor de 1.3% de cenizas en una galleta que se elaboró a base de 25% de harina de maíz morado y 75% de harina de trigo, siendo

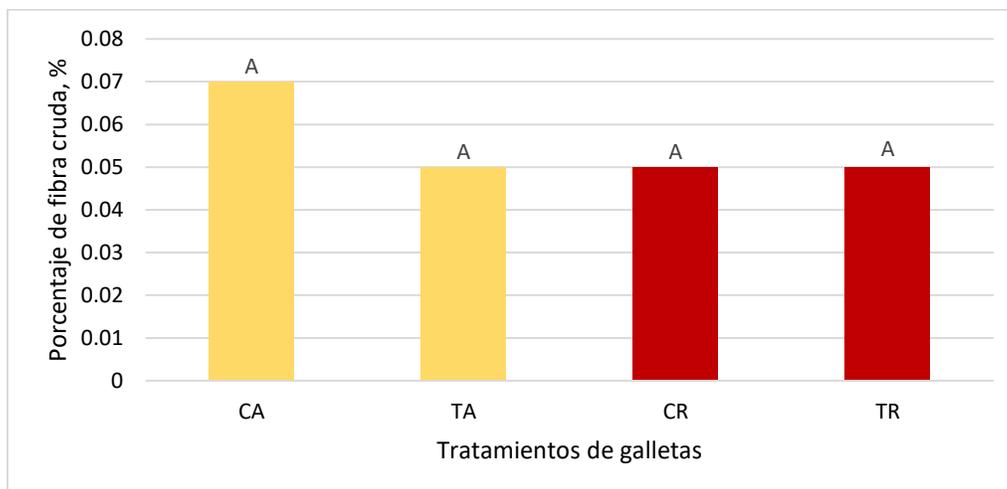
un valor muy cercano al obtenido en la galleta elaborada a base de maíz amarillo germinado (TA), la cual presentó 1.6% de cenizas.



**Figura 3.** Medias del porcentaje de cenizas de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.2.4. Determinación de fibra cruda

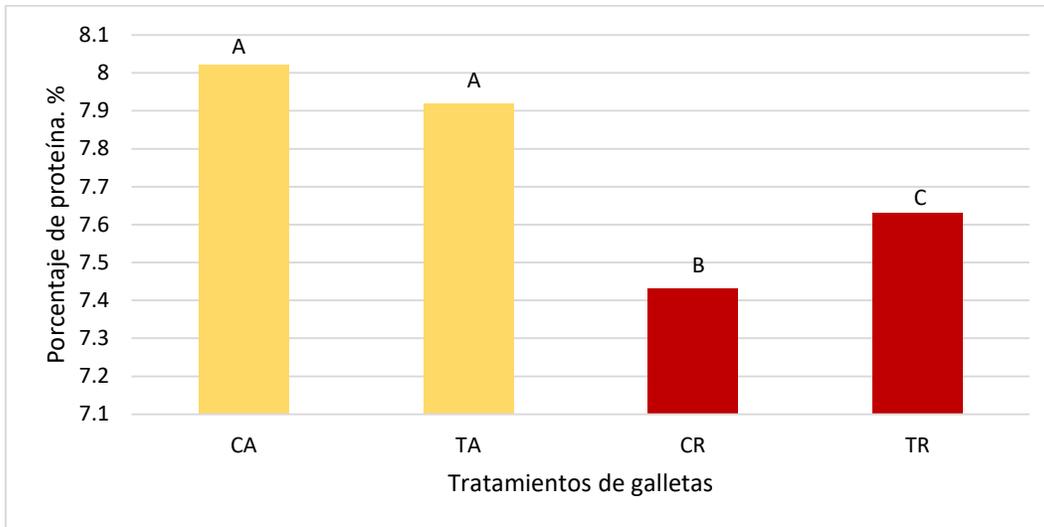
En el análisis de varianza que se realizó para el contenido de fibra cruda no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las cuatro formulaciones de galletas, por lo tanto, a las cuatro muestras se les asignó la misma letra (A). Estos valores se mantuvieron por debajo de 0.1%, la muestra elaborada con harina de maíz amarillo sin germinar (CA) fue el más alto con 0.07%, las demás muestras tuvieron el mismo contenido de fibra con 0.05%, todos estos valores se mantuvieron por debajo del máximo permitido para las galletas entrefinas que es de 0.5% (NMX-F-006-1983), como se muestra en la Figura 4. Rivera Rivera *et al.*, (2019), llevó a cabo el estudio químico proximal de galletas libres de gluten (elaboradas a base de harina de maíz, arroz y cáscara de piña) en función del tiempo, donde reporta resultados de 1.16% de fibra cruda para 1, 25 y 50 días transcurridos, este valor es notablemente superior del que se obtuvo en la muestra CA, que fue el valor más alto obtenido en el presente estudio.



**Figura 4.** Medias del porcentaje de fibra cruda de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.2.5. Determinación de contenido de proteína

Los resultados obtenidos en el análisis de este nutriente no presentaron diferencias significativas en la comparación de medias entre las galletas que se elaboraron con la variedad amarilla (CA y TA), sin embargo, entre estas y las que se elaboraron con la variedad roja (CR y TR) si se detectaron diferencias significativas. Las galletas mostraron un contenido de proteína por encima de 6%, el mínimo contemplado por la norma (NMX-F-006-1983), lo que indica que el contenido de este nutriente refleja el adecuado valor nutrimental del producto, la germinación tuvo un efecto notable en el contenido de este nutriente en la variedad de pigmentación roja, ya que la galleta elaborada a base de maíz germinado color rojo (TR) presentó 7.63% de proteína, mientras el control (CR) presentó 7.43%, aunque de todo el estudio, la muestra elaborada a base de maíz sin germinar de color amarillo (CA) tuvo el mayor porcentaje de proteína con 8.02%. Para dar un mayor impulso al contenido de este nutriente en alimentos como las galletas también se puede mezclar con harinas de otros cereales como en el estudio realizado por Guerrero *et al.*, (2013), donde se obtuvo un valor de hasta 14.72% de proteína en galletas elaboradas con 70% harina de maíz + 30% harina de arroz y quinoa.



**Figura 5.** Medias del porcentaje de proteína de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

### 4.3. Características físicas

#### 4.3.1. Color

En el Cuadro 5 se presentan los valores obtenidos en la medición de color de cada una de las muestras de las 4 galletas formuladas. Se observan los valores de  $L^*$ , luminosidad o claridad, la cual se encuentra en un rango de 0 a 100; la  $a^*$  define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el rojo si  $a^*$  es positiva, y hacia el verde si  $a^*$  es negativa. Análogamente el valor  $b^*$  define la desviación hacia el amarillo si  $b$  es positiva, y hacia el azul si  $b^*$  es negativa (Mathias-Retting & Ah-Hen, 2014).

**Cuadro 5.** Medición del color de las galletas (letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las medias de las muestras con una  $p > 0.05$ ).

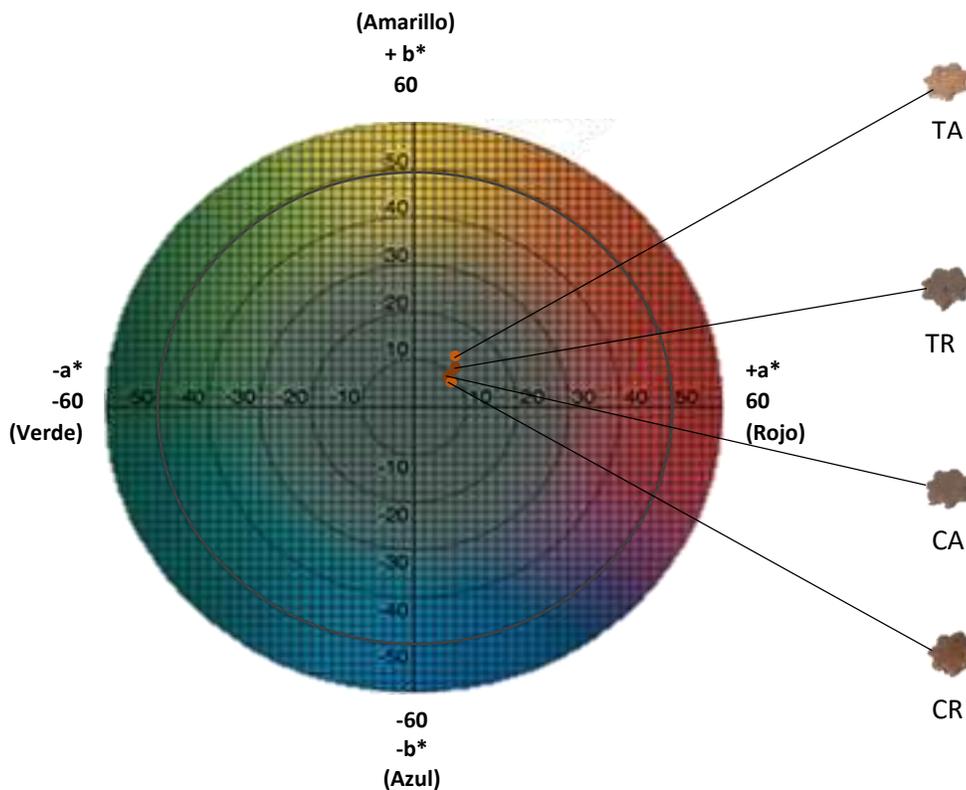
Muestra	$L^*$	$a^*$	$b^*$
CA	55.82 A	7.07 A	5.93 A
TA	58.06 B	8.37 B	10.22 B
CR	53.02 A	7.61 B	5.14 A
TR	53.39 A	8.32 B	7.68 A

La luminosidad obtenida en las muestras a base de maíz germinado (TA y TR) fue mayor en comparación con las obtenidas en las muestras elaboradas a base de maíz sin germinar (CA y CR), por lo tanto, al utilizar harina de maíz germinado en la elaboración de las galletas nos da un producto con un color más claro en relación al mismo producto formulado con harina sin germinar. Esta característica se debe a la madurez fisiológica del grano en la cual se puede detectar la denominada “capa negra”, lo que nos da una luminosidad menos intensa en el maíz sin germinar y para el maíz germinado esta se puede detectar a partir de la tercera semana de germinación, por lo tanto, entre la semana uno y tres presentará un color más claro según lo reportado por Mancera & Ramírez, (2018).

Al llevar a cabo la comparación de medias en el análisis de varianza en cuanto a la luminosidad (L), observamos que las diferencias significativas se encontraron únicamente en la muestra elaborada a base de maíz germinado color amarillo (TA), ya que las otras muestras presentaron valores más cercanos entre ellas como muestra el Cuadro 5.

En las escalas  $a^*$  y  $b^*$  de medición del color se mostraron valores superiores para las galletas elaboradas a base de maíz germinado (TA y TR), las galletas elaboradas a base de maíz germinado color amarillo (TA) presentaron un color más claro al tener  $b^*$  mayor valor que  $a^*$ , lo que nos dio un color café claro, y su contraparte (CA) nos dio un color café al tener  $a^*$  mayor valor que  $b^*$ , al igual que las galletas elaboradas a base de maíz germinado color rojo (TR), por otro lado, las galletas elaboradas con maíz sin germinar presentaron un color café más claro cómo se puede observar en la Figura 6.

En cuanto a la tendencia hacia el color rojo ( $a^*$ ), ya que  $a^*$  es positiva, la comparación de medias en el análisis de varianza del Cuadro 5 nos muestra a la formulación en la que se empleó harina de maíz sin germinar de color amarillo (CA) como la única que presentó diferencias significativas en comparación con las otras formulaciones.

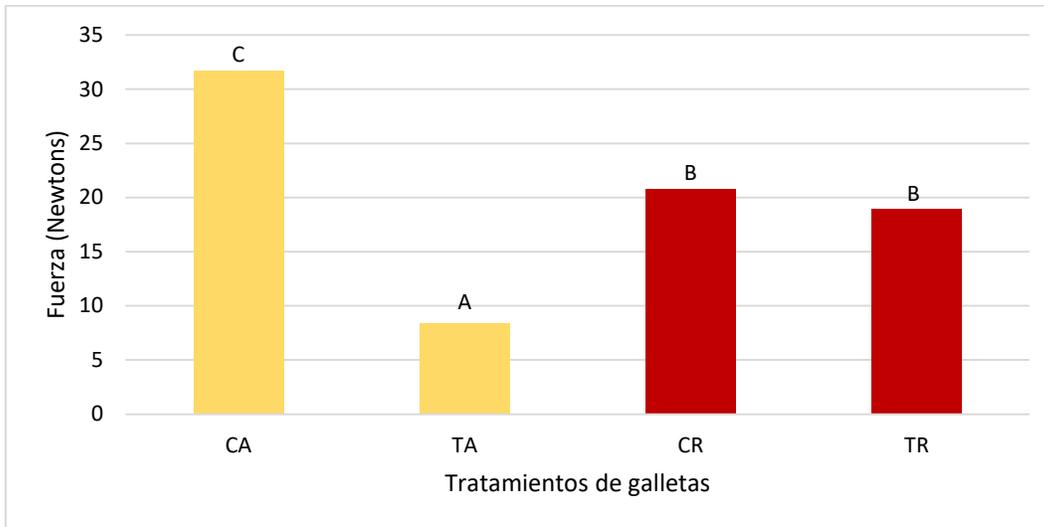


**Figura 6.** Ubicación del color de las galletas en la gráfica CIELab (Konica Minolta, 2022). Donde se representan las medias de los parámetros de CIELab de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

Para la escala de color  $b^*$ , el resultado del análisis de varianza nos indica que la muestra elaborada a base de maíz germinado de color amarillo (TA) es la única que presenta diferencias significativas (Cuadro 5). Como menciona Gildardo *et al.*, (2020), el maíz color amarillo suele conservar el matiz en la obtención de la harina y aunado al efecto de la germinación, la muestra TA presentó el color más claro, difiriendo del resto como se puede observar en la Figura 6.

### **4.3.2. Firmeza**

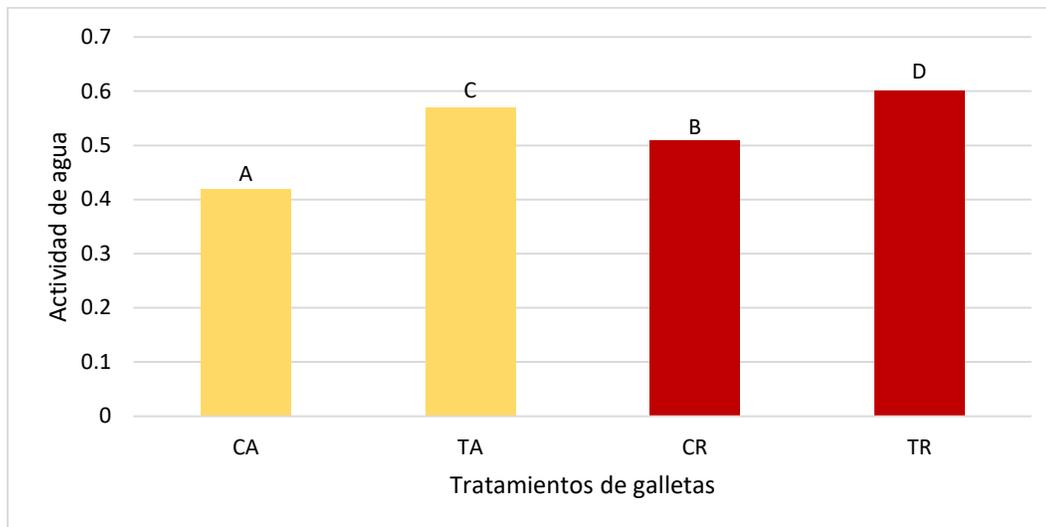
En la Figura 7 podemos observar la comparación de medias, en donde se encontraron diferencias significativas entre las muestras elaboradas a base de maíz amarillo (CA y TA), en las muestras elaboradas con maíz rojo (CR y TR) no se encontraron diferencias significativas ya que los resultados son relativamente similares. La firmeza de las galletas fue más baja en aquellas que fueron elaboradas a base de maíz germinado. La germinación influye en la estructura del grano, la harina y en consecuencia en el producto, en este caso las galletas de maíz germinado presentaron menor firmeza debido a que durante la germinación se lleva a cabo la absorción de agua y degradación de algunos nutrientes como el almidón generando amilosa y amilopectina, incluso glucosa y fructosa mediante la activación de algunas enzimas (amilasa, hidrolasa, etc.) para poner a disposición del embrión los nutrientes y la energía generada, dando como resultado estructuras más fáciles de deformar (Gutiérrez, 2019). Las galletas elaboradas a base de maíz germinado color amarillo (TA), tuvieron la firmeza más baja, ya que solo se empleó una fuerza equivalente a 8.42 N, aquellas elaboradas con la misma variedad de maíz, pero sin germinar (CA) tuvieron la firmeza más alta con 31.7 N. Moralejo, (2019) llevó a cabo el estudio de galletas elaboradas a base de maíz blanco en donde la firmeza obtenida fue de 16.92 N, un valor cercano al que se obtuvo en este estudio en la muestra TR que fue de 18.9 N.



**Figura 7.** Medias de la firmeza de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.3.3. Actividad de agua ( $A_w$ )

Para el análisis de los valores obtenidos en este parámetro, el ANOVA (Figura 8) encontró diferencias significativas en las cuatro muestras, en donde los valores obtenidos en las galletas elaboradas a base de maíz germinado (TA y TR) fueron más altos en comparación con los controles (CA y CR). Esta cualidad se genera debido a que durante la germinación se lleva a cabo la absorción de agua para iniciar los procesos metabólicos y tener los nutrientes necesarios disponibles para el embrión, reteniendo agua en los granos germinados, en la harina y en consecuencia en las galletas (Aparecida *et al.*, 2015).



**Figura 8.** Medias del porcentaje de actividad de agua ( $A_w$ ) de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

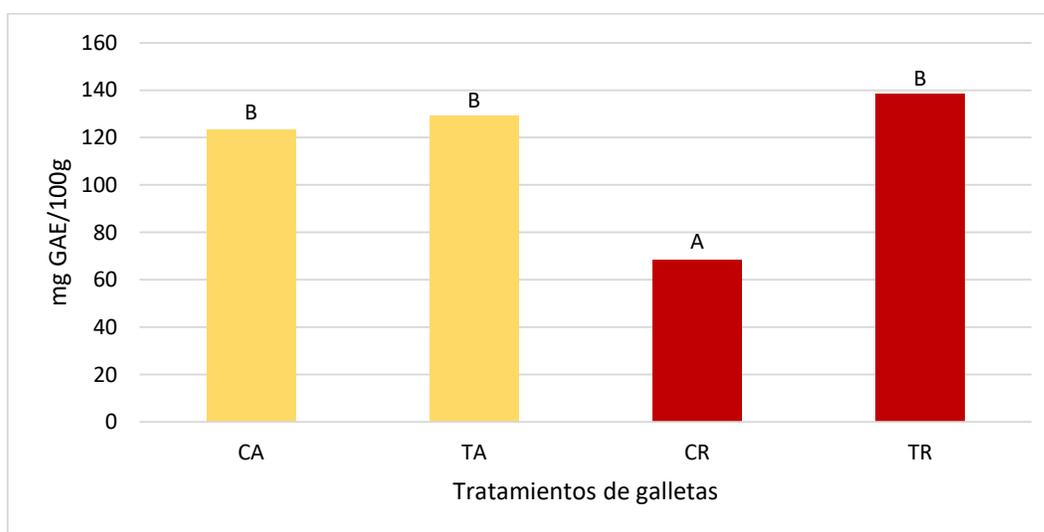
El valor más alto de  $A_w$  fue de 0.60 y se obtuvo en la muestra elaborada con harina de maíz germinado de color rojo (TR) y el más bajo se registró en la muestra elaborada de maíz amarillo sin germinar con 0.42. Navarro, (2016) obtuvo 0.562  $A_w$  en galletas elaboradas a base de maíz nixtamalizado el día 1 posterior a su elaboración y 0.578 después del día 15, el cual es un valor muy cercano al que se obtuvo en la muestra TA que fue de 0.57. Las muestras se mantuvieron igual o por debajo de 0.60, considerado como el rango típico de  $A_w$  para los alimentos como las galletas, caracterizado generalmente por la inhibición de microorganismos (Rivera-Marentes *et al.*, 2021).

#### 4.4. Análisis de componentes bioactivos

##### 4.4.1. Polifenoles hidrolizables

De acuerdo a los resultados obtenidos en este análisis (Figura 9) nos muestran que las galletas elaboradas a base de maíz sin germinar color rojo (CR) presentaron diferencias significativas con una  $p > 0.05$  frente a las otras tres formulaciones de galletas, ya que en esta muestra se obtuvo el contenido más bajo de polifenoles

hidrolizables. Las muestras que se elaboraron con maíz germinado (TA y TR) tuvieron un notable aumento en la concentración de polifenoles en comparación con las muestras elaboradas a base de maíz sin germinar de las mismas variedades (CA y CR), como menciona Shafgat (2013), una germinación bien controlada incrementa el contenido de compuestos bioactivos como los polifenoles, también se obtienen harinas con propiedades funcionales mejoradas, incluyendo un mayor volumen en el producto, mayor elasticidad y plasticidad para la pasta. Ciprián, (2020) reporta 109.91mg GAE/100g de contenido de polifenoles en el estudio que llevó a cabo en un snack elaborado con 15% de cáscara de cacao y 85% harina de maíz no extruido, en base a este dato confirmamos que existe un gran incremento del contenido de polifenoles mediante la germinación como se hace evidente en el presente estudio.

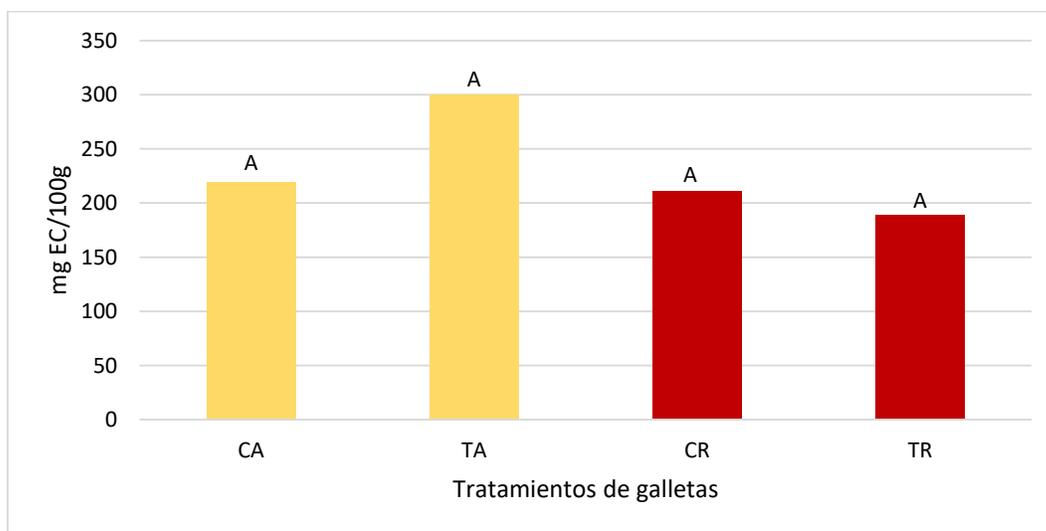


**Figura 9.** Medias del contenido de polifenoles (mg GAE/100g) de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.4.2. Flavonoides o taninos condensados

La Figura 10 muestra el ANOVA para el contenido de flavonoides o taninos condensados, en donde se puede observar que no existe diferencias significativas entre las cuatro formulaciones de galletas. Estos resultados muestran que la

formulación elaborada a base de maíz germinado color amarillo (TA) posee mayor contenido (299.67 mg EC/100g) de las cuatro formulaciones. Con estas concentraciones, las muestras CA, TA y CR, se sitúan sobre maíces de otras especies en cuanto al contenido de estos componentes, por ejemplo, la variedad INIAP-199 estudiada por Villacrés Poveda *et al.* (2019), donde se demostró que el grano posee un contenido de 200.91 mg EQ/100g.

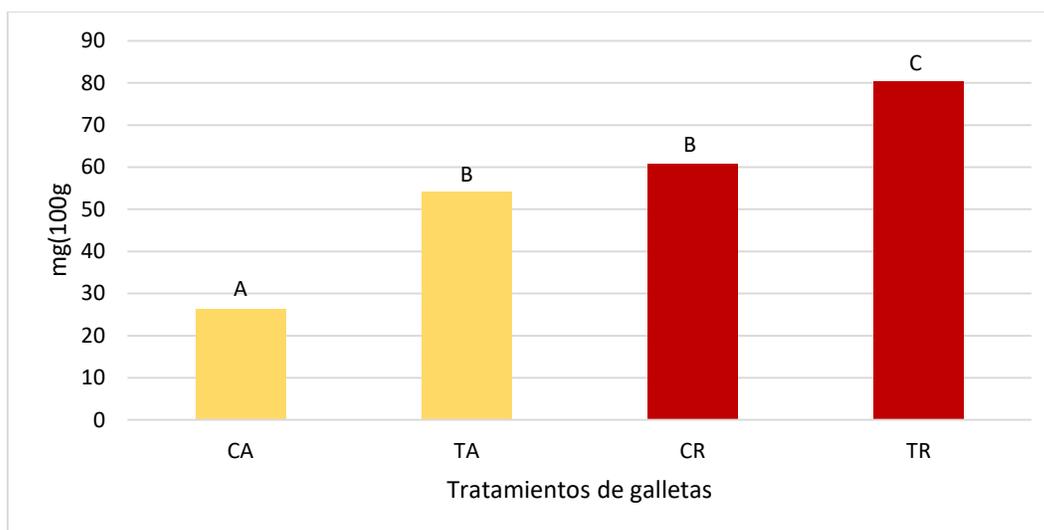


**Figura 10.** Medias del contenido de flavonoides (mg EC/100g) de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.4.3. Antocianinas

El contenido de antocianinas obtenidos de las muestras elaboradas a base de maíz germinado (TA y TR) fue superior al obtenido de las muestras elaboradas a base de maíz sin germinar (CA y CR) como se presenta en la Figura 11, lo que es un indicativo de que al llevar a cabo la germinación el contenido de este componente bioactivo aumenta, por lo tanto, aumenta su valor biológico, ya que los antioxidantes naturales son preciados porque pueden ser usados en la formulación de alimentos funcionales. La importancia de los antioxidantes es crucial para la salud, debido a su capacidad de neutralizar radicales libres, que contienen uno o más electrones desapareados, siendo responsables de muchas enfermedades

degenerativas, cataratas, arteroesclerosis, muerte celular y cáncer, así mismo por su capacidad de eliminar y atrapar potencialmente a los electrófilos que dañan el ADN, metales tóxicos, inhiben de enzimas activadoras de precarcinógenos y hasta carcinógenos (Villanueva-Tiburcio, 2010).

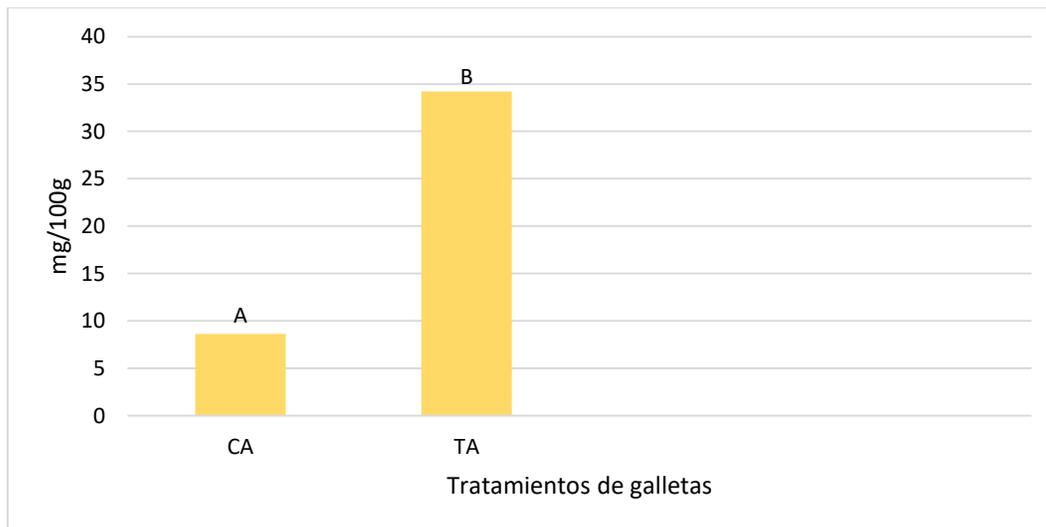


**Figura 11.** Medias del contenido de antocianinas (mg/100g) de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

En el análisis de varianza ( $P > 0.05$ ) para este componente se encontraron diferencias significativas entre las muestras del mismo color (CA frente a TA y CR frente a TR). En la Figura 11 se puede observar que la galleta elaborada a base de maíz germinado color rojo es la que presentó mayor contenido de antocianinas. El contenido de antocianinas en los granos de maíz puede variar en función del color del grano, en los maíces con tonalidades azul/morado, púrpura o magenta el contenido es mayor que en los granos de color rojo, debido a esto, los granos de maíz morado, púrpura y magenta son los más estudiados por su uso en la elaboración de extractos comerciales de pigmentos tipo antocianos, Tal es el caso de la variedad color magenta de la raza Arrocillo estudiada por Moreno *et al.*, (2013) para la cual reporta con un contenido de 115 mg/kg como la variedad con mayor contenido de antocianinas en ese estudio.

#### 4.4.4. Carotenoides (variedad amarilla)

Los resultados de la comparación de medias que arrojó este parámetro indican que existe diferencias significativas entre los resultados obtenidos de ambas muestras, ya que como el estudio lo indica, al tener letras distintas se entiende que se encontraron diferencias significativas. En la Figura 11 se puede notar que existe una gran diferencia en el contenido de carotenoides, la muestra TA se mantiene muy por encima con una diferencia de 26.36 mg/100g. Salinas Moreno *et al.*, (2008) menciona que el rango contemplado para el contenido de carotenos va de 0.45 a 33.11 mg/100g, esto dependiendo de varios factores como el genotipo del maíz, si es mejorado para un alto contenido de carotenoides, particularmente ( $\beta$ -caroteno), o si se trata de maíz dulce o dentado, por lo tanto, la formulación elaborada a base de maíz germinado (TA) se mantiene por encima de este rango, ya que el contenido máximo registrado es de 36.15 mg/100g, haciendo evidente que la germinación tiene un impacto positivo en el contenido de carotenoides.

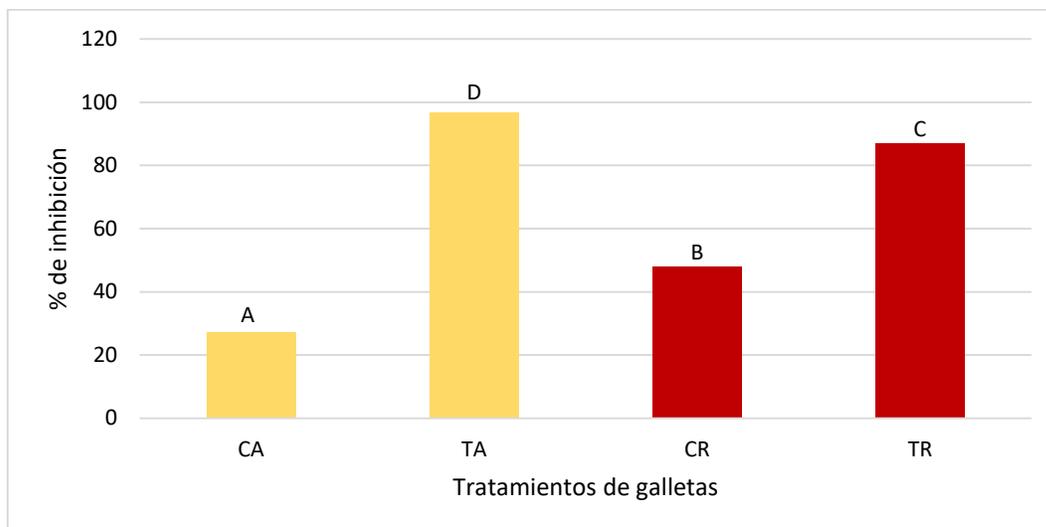


**Figura 12.** Medias del contenido de carotenoides (mg/100g) de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### **4.5. Capacidad antioxidante por método ABTS**

El porcentaje de inhibición según la comparación de medias ( $p > 0.05$ ) presentó diferencias significativas para cada muestra. Los resultados obtenidos reflejan la influencia de la germinación en el aumento de los compuestos que participan en la inhibición de los radicales libres como el caso de los compuestos fenólicos, ya que las galletas que se elaboraron a base de maíz germinado (TA y TR) tuvieron mayor capacidad antioxidante frente a las galletas que se elaboraron con las mismas variedades de maíz pero que no se germinaron (CA y CR). La galleta que se elaboró con maíz germinado de la variedad amarilla (TA) presentó el mayor porcentaje de capacidad antioxidante de las cuatro formulaciones con un 96.87% de inhibición (Figura 13).

Existen múltiples estudios sobre la capacidad antioxidante del maíz de distinta pigmentación, entre ellos se encuentra el reportado por Rosales *et al.* (2017), en donde se obtuvo el porcentaje de actividad antioxidante para la variedad Morado-Rojo (TZII) y Morado (ERZ) donde se obtuvieron 22.97% y 27.22% de porcentaje de inhibición respectivamente, la capacidad antioxidante de la variedad Morado (ERZ) reportada es similar a la obtenida en este estudio en la galleta que se elaboró con maíz amarillo sin germinar (CA) con 27.15%. Haciendo a un lado las muestras que se elaboraron con maíz germinado, entre las dos variedades reportadas por Rosales *et al.* (2017) y las dos variedades analizadas en este estudio, la variedad de color rojo analizada en este estudio tiene el mayor porcentaje de inhibición ya que presentó 47.90%.



**Figura 13.** Medias de la capacidad antioxidante (%) de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

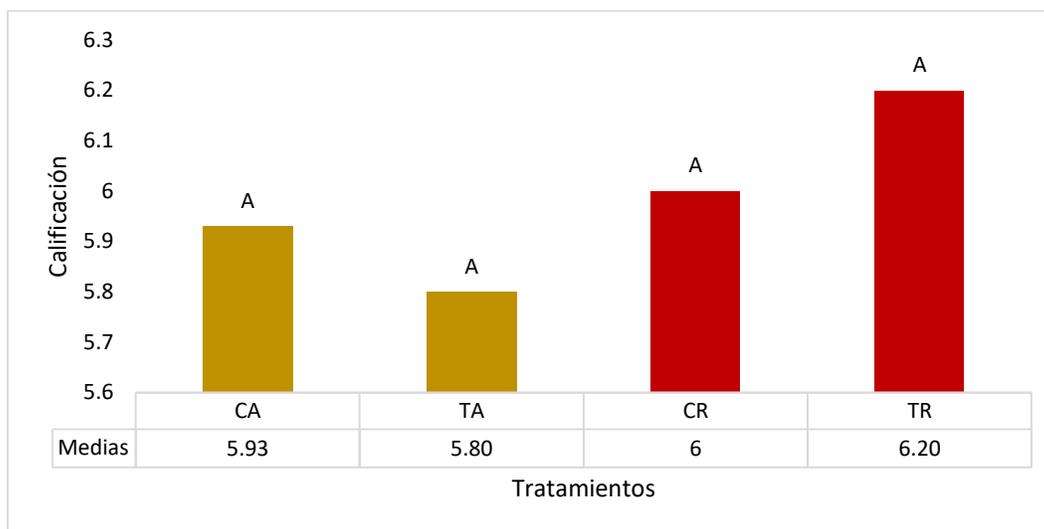
#### 4.6. Evaluación sensorial

Los resultados obtenidos en la prueba hedónica realizada en el análisis sensorial se sometieron a una comparación de medias de Fisher a un nivel de significancia de  $p = 0.05$  utilizando el software InfoStat versión 2020. Donde se evaluó apariencia global, color, olor, sabor, textura y aceptación global de acuerdo a las respuestas emitidas por 15 panelistas (consumidores y semientrenados).

##### 4.6.1. Apariencia global

El análisis de varianza (Figura 14) indica que no existen diferencias significativas entre las cuatro galletas respecto a la apariencia global, ya que como el software lo indica, las muestras presentan letras iguales (A), a pesar de que los resultados obtenidos no son iguales, las diferencias de estos son mínimas, pues las calificaciones emitidas por los jueces son mayormente con valores altos en la escala de aceptación. La galleta elaborada con maíz germinado color rojo (TR) tuvo la mayor calificación de las cuatro muestras, tomando en cuenta que la calificación máxima de esta prueba fue de 7 (muy agradable). En general, las muestras elaboradas a base de harina de maíz color rojo (CR y TR) tuvieron mayor aceptación

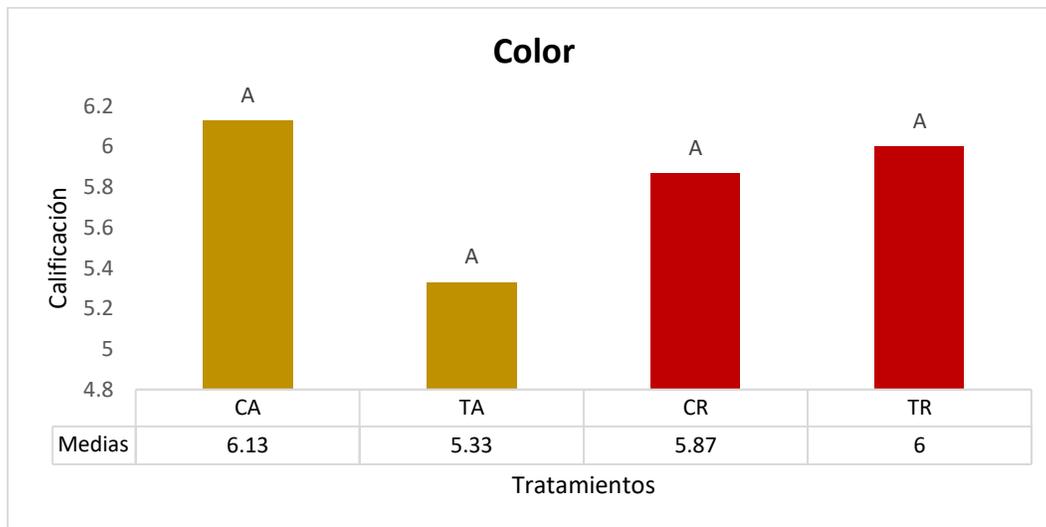
en cuanto a la apariencia global, ya que visualmente mostraba características muy agradables a los sentidos como son color y textura.



**Figura 14.** Medias del nivel de agrado de la apariencia global de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.6.2. Color

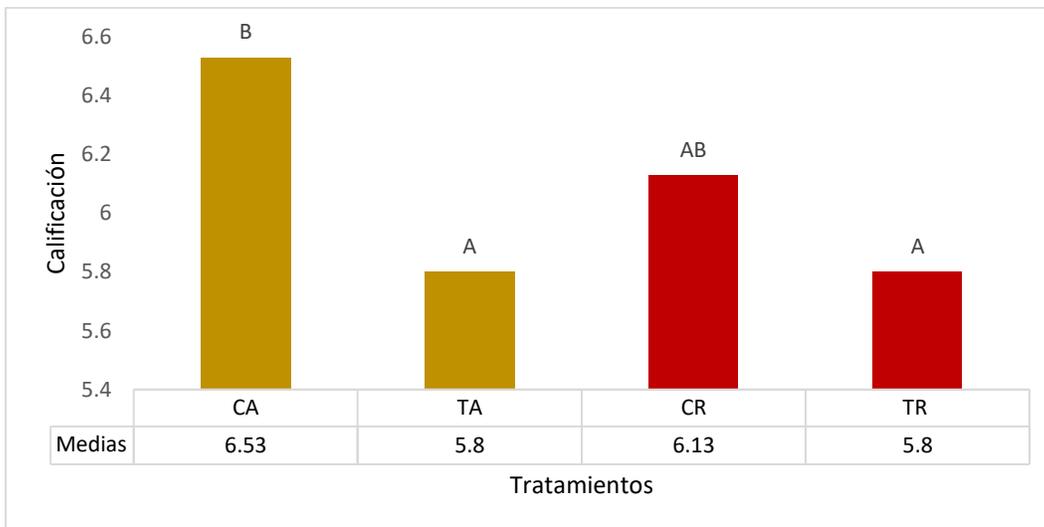
No se encontraron diferencias significativas entre las cuatro muestras analizadas por los jueces en la comparación de medias que se observa en la Figura 15. Todas las muestras obtuvieron una calificación arriba de 5, mostrando buena aceptación por parte de los jueces respecto al color que presentaron las galletas. La muestra elaborada a base de maíz sin germinar color amarillo (CA) obtuvo la mayor calificación de las cuatro galletas con 6.3, la muestra elaborada con el maíz del mismo color pero que se germinó obtuvo la calificación más baja con 5.33. Por otro lado, en las muestras elaboradas con maíz rojo, la que se elaboró con harina de maíz germinado (TR) presentó mayor nivel de agrado.



**Figura 15.** Medias del nivel de agrado del color de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.6.3. Olor

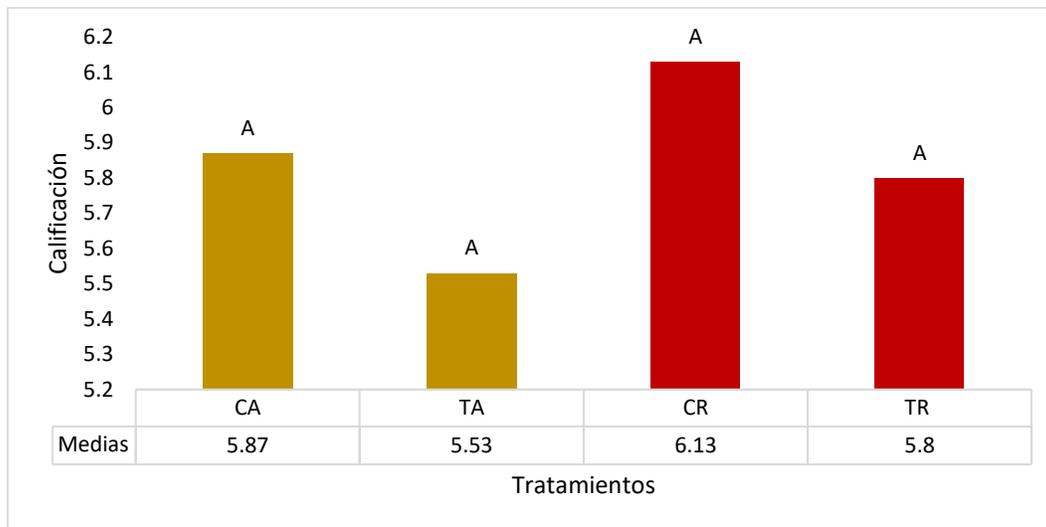
Con base al ANOVA de los resultados obtenidos en la evaluación del olor, la galleta elaborada con maíz sin germinar color amarillo (CA) presentó diferencias significativas con respecto a las muestras que se elaboraron con maíz germinado de ambas variedades (TA y TR). De acuerdo a los jueces, la galleta que presentó el olor más agradable es la que se elaboró con maíz sin germinar color amarillo (CA), posteriormente se encuentra la galleta que se elaboró con maíz sin germinar color rojo (CR), y por último las dos muestras que se elaboraron con maíz germinado (TA y TR) con el mismo promedio de calificación como se presenta en la Figura 16.



**Figura 16.** Medias del nivel de agrado de olor de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.6.4. Sabor

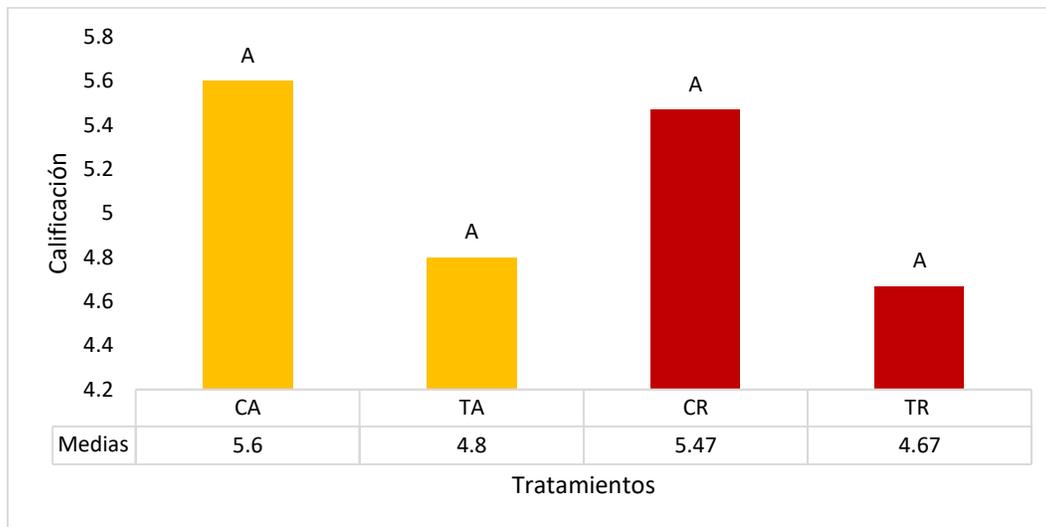
Como podemos observar en la Figura 17, no se encontraron diferencias significativas entre las cuatro galletas evaluadas. Las dos muestras que se elaboraron a base de maíz germinado, la que se elaboró con maíz rojo (TR) fue de mayor preferencia para los jueces, en comparación con la muestra que se elaboró con maíz germinado de color amarillo (TA). En general, al evaluar las cuatro galletas, la que fue elaborada a base de maíz sin germinar color rojo (CR) fue la que tuvo mayor grado de preferencia por parte de los jueces que integraron el panel de evaluación sensorial.



**Figura 17.** Medias del nivel de agrado de sabor de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

#### 4.6.5. Textura

Para este parámetro no se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias de las calificaciones otorgadas por los jueces a las cuatro galletas. La galleta elaborada a base de maíz color amarillo sin germinar (CA) presentó una textura firme y las otras tres galletas (TA, CR y TR) se consideraron con una textura ligeramente firme como indica la siguiente Figura. Estos valores nos indican que la textura de las cuatro formulaciones de galletas es adecuada, ya que es un producto que debe presentar una textura idónea que no cueste mucho trabajo morderla (textura muy firme) y que tampoco se desmorone con facilidad (textura suave) (Martínez *et al.*, 2017).



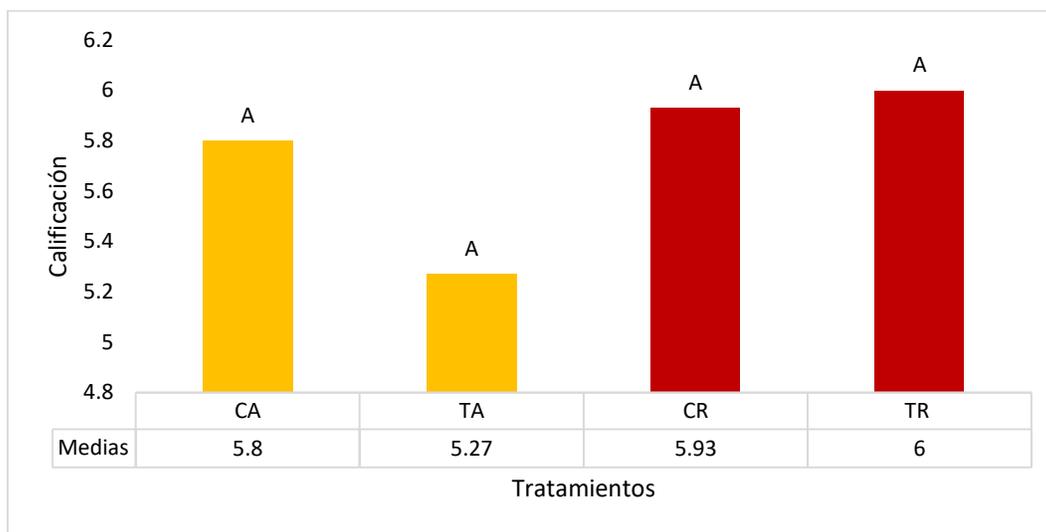
**Figura 18.** Medias del nivel de agrado de textura de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

Las muestras de interés (TA y TR), tuvieron una textura firme inferior respecto a las muestras control (CA y CR), lo que es un indicativo de que, al llevar a cabo la germinación del maíz, las galletas resultantes tendrán una textura ligeramente más suave en comparación con las galletas que se elaboraron con maíz sin germinar (Finnie *et al.*, 2019).

#### 4.6.6. Aceptación global

La aceptación global es de gran importancia para el estudio, ya que de esta manera sabemos cuál de las cuatro formulaciones es de mayor grado de preferencia para los jueces y por lo tanto para los consumidores en general. En la comparación de medias obtenidas en la evaluación de este atributo no se detectaron diferencias significativas (Figura 19). La galleta elaborada a base de maíz germinado color rojo (TR) es la de mayor nivel de agrado según la preferencia de los jueces contemplado sus todas sus características sensoriales en conjunto, ya que el promedio de las

calificaciones que se le asignó a la galleta es de 6, que corresponde a la característica sensorial “agradable” en base a la escala hedónica empleada.



**Figura 19.** Medias del nivel de agrado de aceptación global de los tratamientos de galletas obtenidas a una  $p > 0.05$ , donde CA (galleta control maíz amarillo), TA (galleta maíz amarillo germinado), CR (galleta control maíz rojo) y TR (galleta maíz rojo germinado).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

Se logró la germinación de las dos variedades de maíz, rojo y amarillo, y de esta manera se obtuvo la harina correspondiente para la elaboración de las cuatro formulaciones de galletas. Dos tratamientos con harina de maíz sin germinar (CA y CR) y dos con harina de maíz germinado (TA y TR).

Las características bromatológicas se vieron beneficiadas mediante la germinación en los tratamientos, las muestras germinadas presentaron bajo contenido de humedad, garantizando una larga vida de anaquel bajo las condiciones adecuadas, TA mostró bajo contenido de grasa, así como de cenizas, los tratamientos contenían mayor cantidad de proteína que el control de la variedad roja (CR).

Respecto a los parámetros físicos, las galletas que se elaboraron con harina de maíz germinado, presentan un color más claro en comparación con las que se elaboraron con harina de maíz sin germinar. La firmeza de las galletas que se elaboraron con harina de maíz germinado es más suave.

La actividad antioxidante presentada por las galletas elaboradas a base de harina de maíz germinado de ambas variedades es notablemente superior frente a los controles.

Sensorialmente, las galletas elaboradas a base de maíz germinado son de mayor nivel de agrado para los consumidores, ya que presentan mejores características como el color, textura y apariencia global frente a las galletas elaboradas con maíz sin germinar.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos tropicales, 30 (2).

Aguilera, M., Reza, M., Chew, R. & Meza, J. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. Revista de ciencias biológicas y de la salud. 13, 16-22.

Álvarez, L. R. (2014). 15 años de cultivo de maíz Bt en España: beneficios económicos, sociales y ambientales. Fundación Antama.

Andersen, G., Koelher, P. & Somosa, V. (2011). Metabolic effects of bread fortified with wheat sprouts and bioavailability of ferulic acid from wheat bran. Flour Breads Their Fortif. Heal. Ds. Prev., pp. 507-517.

Aparecida Días, M., Lopes, J. C., Moreira Guimaraes, G. A., Souza Neto, J. D. & de Oliveras Bernardes, C. (2015). Carrot seed germination in different conditions of salinity and temperatura. IDESIA (Chile), 33 (4), 41-46.

Arroyo, J., Saez, E., Rodriguez, M., Chumpitaz, V., Burga, J., de la Cruz, W. & Valencia, J. (2010). Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (*Zea mays L.*) en ratas hipercolesterolémicas. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 24, 157-162.

Atmani, D., Ruíz-Larrea, M. B., Ruíz Sanz, J. I., Lizcano, L. J. & Bakkali, F. (2011). Antioxidant potential, cytotoxic activity and phenolic content of *Clematis flammula* leaf extracts. J. Med. Res. 5, 589-598.

Badui Dergal, S. (2013). Química de los alimentos. Editorial Pearson. 5ª edición. México. p. 537-538.

Bello-Pérez, I. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E. & Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50 (8), 1043.

Caballero, P., Luz, A., Maldonado, O, Maldonado, M. & Lidia, Y. (2011). Efecto de la adición de avena y café soluble en las características sensoriales de una galleta típica tipo dulce. @LIMTECH Ciencia y tecnología alimentaria. Pamplona, 9 (2), 117-119.

Calvo Bruzos, S. C., Gómez Candela, C., López Nomdedeu, C. & Royo Bordonada, M. A. (2012). *Nutrición, salud y alimentos funcionales*. Editorial UNED. Madrid. P. 27.

Cárdenas Gaitán, M. C. (2017). Estudio de las condiciones de las etapas de esponje y reposo sobre la reología y texturometría de las galletas tipo cracker, Bogotá Colombia. p. 1.

Carrasco Carranza, C. J. & Sánchez Cajo, K. P. (2020). Determinación de la aceptabilidad de galletas elaboradas con diferentes concentraciones de harina de coronta de maíz morado (*Zea mays L.*). Perú, pp. 60,61.

Casas, N., Salgado, Y., Moncayo, D. & Cote, S. (2016). Efecto del proceso de malteado en la calidad y estabilidad de una bebida de quinua (*Chenopodium quinoa wild*) y mango (*Mangifera indica*). *Agroindustrial Science*, 6 (1), 78.

Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Piyachomkwam, K., Tungtrakul, P. & Prinyawiwatkul, W. (2009). Germination conditions affect physicochemical properties of germinated Brown rice flour *J. Food sci.* 74 (9), 658-665.

Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Prinyawiwatkul, W. & No, H. K. (2012). Composite wheat-germinated Brown rice flours: selected physicochemical properties and bread application. *Int. J. Food Sci. Technol.* 47 (1), 75-82.

Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Prinyawiwatkul, W., Tungtrakul, P. (2010). Germination conditions effect selected quality of composite wheat-germinated Brown rice flour and bread formulations. *J. Food Sci.* 75 (6), 312-319.

CONACYT. (2022). Maíz. Consultado el 22 de abril de 2022. Disponible en: <https://conacyt.mx/cibiogem/maiz>.

Ciprián Jiménez, M. (2020). Aplicación de la cáscara del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) como fuente de flavonoides en productos a base de cereales. Revisión de literatura. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura. Honduras, p. 11.

Davidson, I. (2018). Biscuit, Cookie and Cracker Production. First Ed. Elsevier. Consultado el 7 de mayo de 2022. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/biscuit-cookie-and-cracker-production/davidson/978-0-12-815579-0>.

Ding, J., Hou, G. G., Nemzer, B. V., Xiong, S., Dubat, A. & Feng, H. (2018). Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of wholewheat flour and enhanced  $\gamma$ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chem.*, 243, 214-221.

Donkor, O. N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J. & Vasilievic, T. (2012). Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food. Chem.*, 135 (3) 950-959.

Doporto, M. C., Viña, S. Z. & García, M. A. (2012). Obtención y caracterización de harina a partir de raíces de *Pachyrhizus ahipa*. Editorial Académica Española, pp. 115-149.

Edney, M. J., Legge, W. G., Izidorczyk, M. S., Demeke, T. & Rossnagel, B. G. (2013). Identification of barley breeding lines combining preharvest sprouting resistance with “Canadian.type” malting quality. *Crop Sci.*, 53 (4), 1447-1454.

Enyisi, S. I. Umoh, V., Whong, C., Abdullahi, I. & Alabi, O. (2014). Chemical and nutritional value of maize and products obtained from selected markets in Kaduna State, Nigeria. *African J. Food Fsci. Technol.*, 5 (4), 2141-5455.

FAO (2022). El maíz en la nutrición humana. Consultado el 20 de abril de 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/t0395s02.htm>.

Fernández, S. R., Morales, C. L. A. & Gálvez, M. A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista fitotécnica mexicana*, 3 (36) 275-283).

Fincher, G. B. (2011). Biochemistry, physiology and genetics of endosperm mobilization in germinated barley grain. In *barley: Production Improvement and Uses*, 449-477.

Finnie, S., Brovelli, V. & Nelson, D. (2019). Sprouted grains as an ingredient. Elsevier Inc, in cooperation with AACC International, pp. 114-131.

Gildardo Pineda, C., Yamul, D. K. & Navarro, A. S. (2020). Efecto de la harina de lino y de extractos de yerba mate sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un snack de maíz libre de gluten. XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos y XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos-CyTAL®-ALACCTA 2019. Buenos Aires, Argentina, pp. 3-6.

Grande Tovar, C. D. & Orozco Colonia, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo De Okham.*, 11 (1), 97-110.

González-Cortéz, N., Silos-Espino, H., Estrada Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A. & Tejero Jiménez, L. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 669-680. Recuperado el 22 de septiembre de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=es).

Guerrero, K. O., Duque, D. C. H. & Zuleta, H. A. (2013). Desarrollo y caracterización de un producto libre de gluten a base de harinas de maíz, arroz y quinua. *Alimentos Hoy*, 22 (29), 47-60.

Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S. & Paucar-Menacho, L. M. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea Mays L.*) var. Subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*. Perú, 5, 212-214.

Gutiérrez Osnaya, L. J. (2019). Influencia del proceso de germinación sobre los cambios microestructurales del almidón de cebada. XXXIX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A. C. (AMIDIQ). CONACYT, pp. 5-23.

Han, J. J., Janz, J. A. & Gerlant, M. (2010). Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International*, 43 (2), 627-633.

Huaraca Aparco, R., Taípe Pardo, F. & Delgado Laime, M. del C. (2021). Fortificación del Yogurt con hierro hémico y su aceptación en niños del sector rural de la región Apurímac. *Manglar*. 18 (2), 118,119.

Hung, P. V., Hatcher, D. W. & Baeker, W. (2011). Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chem.*, 126 (4), 1896-1901.

James, C. (2013). Global status of commercialized biotech/GM crops: 2013. ISAAA Brief 46. ISAAA. Ithaca, New York, EE. UU.

Konica Minolta. (2022). Entendiendo el espacio de color CIELab. Sensing Americas. Consultado el 13 de mayo de 2022. Disponible en: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Linares, E. & Bye, R. (2012). La milpa: patrimonio y cultural de México, en el Frijol, un regalo de México al mundo, México: Fundación Herdez. pp. 69-83.

Liu, T., Hou, G. G., Cardin, M., Marquart, L. & Dubat, A. (2017). Quality attributes of wholewheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution *LWT – Food Sci. Technol.*, 77, 1-7.

López-Martínez, L. X., Parkin, K. L. & García, H. S. (2011). Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of White, blue, red and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 66, 41-47.

López Molina, J. (2015). UF1361-Preparación de masas y elaboraciones complementarias múltiples de repostería. Editorial Elearning. S. L., p. 56.

Mancera, R. A. & Ramírez, J. A. (2018). Determinación de la madurez fisiológica en semilla de maíz (*Zea mays* L.) mediante ganancia de peso seco y métodos alternos. *Agro productividad. México*, 7 (1), 51-56.

Marquina Berenguer, E. (2022). Galletas. Badali. UNIVERSITAS Miguel Hernández, pp. 1,2. Consultado el 3 de mayo de 2022. Disponible en: <http://badali.umh.es/assets/documentos/pdf/artic/galletas.pdf>.

Martínez Soler, N., Castillo Ruíz, O., Rodríguez Castillejos, G., Perales-Torres, A. & González Pérez, A. L. (2017). Análisis proximal, de textura y aceptación de las galletas de trigo, sorgo y frijol. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 67, 3. Consultado el 9 de julio de 2022. Disponible en: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/3/art-8/>.

Mathias-Retting, k. & Ah-Hen, K. (2014). El color de los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 42 (2), 63.

Mex-Álvarez, R. M. J., Bolívar Fernández, N. J., Garma Quen, P. M., Tut Heredia, J. A. & Romero Guillén, K. I. (2013). Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz cultivadas en Campeche, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. Campeche, México*, 12 (6), 566.

Moralejo Carral, C. (2019). Estudio de la sustitución de grasas en galletas de trigo y maíz blanco. Universidad de Valladolid. Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos, p. 20.

Moreno, Y. S., Salinas, C. G., Estrada, B. C. & Martínez, V. A. V. (2013). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(3-A), 287.

Mota Cruz, C., Caroline Burgeff, C. & Acevedo Gasman, F. (2021). Maíces. Biodiversidad mexicana. Consultado el 2 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices>.

Navarro Tapia, Y. C. (2016). Desarrollo de galletas a base de harina de maíz (*Zea mays*) y quinoa (*Chenopodium quinoa*) con adición de cáscara de huevo en polvo. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para optar al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura. Honduras, pp. 9,10.

Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T. & Mathai, M. (2013). Germinated grains: a superior whole grain functional food? *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 91 (6), 429-441.

NMX-F-006-1983. (2022). Alimentos-Galletas. Consultado el 6 de enero de 2022. Disponible en: <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-f-006-1983.pdf>.

Open food facts. (2022). Galletas Quaker con chocolate-240g. Consultado el 13 de septiembre de 2022. Disponible en: <https://mx.openfoodfacts.org/producto/7500478004690/buenos-dias-galletas-quaker-con-chocolate>.

Ortiz, D., Rocheford, Y. R. & Ferruzzi, M. G. (2016). Influence of temperature and humidity on the stability of carotenoids in biofortified maize (*Zea mays L.*) genotypes during controlled postharvest storage. *J. Agric. Food Chem.*, 64, 2727-2736.

Parera, C. A. (2017). Producción de maíz dulce. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. Primera edición, p. 30.

Patil, S. B. & Khan, M. K. (2012). Some cooking properties of germinated Brown rice of Indian varieties. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 14 (4), 156-162.

Paulson, L. C. & Wrigley, C. W. (2016). Cookies and Crackers: Commercial Production. Encyclopedia of Food Grains. Second Edition. Elsevier, 1, 59-61.

Puma Isuiza, G. G., Liñan Perez, J. F., Coavoy Sánchez, I., Coronado Olano, J., Salas Valerio, W. F. & Vargas Delgado, L. F. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. Anales científicos, Perú, 79 (1), 218.

Ramos Flores, Y. E. (2021). Contenido de sodio en productos alimenticios preenvasados y comercializados en El Salvador. Alerta, Revista científica del Instituto Nacional de Salud, 4 (3), 135-138.

Ranum, P., Peña-Rosas, J. P. & García Casal, M. N. (2014). Global Maize production, utilization, and consumption. Annals of the New York Academy of Sciences, 1312, 105-112.

Retes Mantilla, R. F., Torres Sanabria, G. & Garrido Roldán, S. (2014). Un modelo econométrico de la demanda de tortilla de maíz en México, 1996-2008. Estudios sociales (Hermosillo, Sonora), 22 (43), 37-59. Consultado el 1 de octubre de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0188-4557201400010002&ing=es&ting=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0188-4557201400010002&ing=es&ting=es).

Rivera-Marentes, S., García-Alanís, K., Amaya, C., Sánchez-García, E., Gallardo-Rivera, C. & Castillo S. (2021). Evaluación de atributos de calidad en galletas artesanales envasadas en dos tipos de empaque. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Nuevo León, México, 6, 178.

Rivera Rivera, M., Valencia Pérez, M. P. & Carlos Martínez, G. (2019). Evaluación microbiológica y valor nutricional de una galleta libre de gluten. Ciencia administrativa, 1 (1), 29.

Román, S., Ojeda-Granados, C. & Panduro A. (2013). Genética y evolución de la alimentación de la población en México. Revista de Endocrinología y Nutrición, 21 (1), 47.

Rosales, V. Q., Luna, K. G., García, F. Z., Flores, J. P., Heredia, J. B., Urías-Orona, V., ... & Medina, G. N. (2017). Fenólicos solubles de tipo flavonoide y capacidad

antioxidante en genotipos criollos pigmentados de maíz (*Zea mays*). ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), 113(4), 328-330.

Salinas Moreno, Y., Saavedra Arellano, S., Soria Ruíz, J., & Espinosa Trujillo, E. (2008). Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea Mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 357-364. Consultado el 22 de enero de 2022. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172008000300011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300011&lng=es&tlng=es).

Sánchez, O. I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca* (biología). Serie Botánica. 7(2):151-171.

Santander-M., M., Osorio M., O. & Mejía-España, D. (2017). Evaluación de propiedades antioxidantes y fisicoquímicas de una bebida mixta durante almacenamiento refrigerado. *Rev. Cienc. Agr.*, 34 (1), 85.

Serna-Saldivar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. A. & García-Lara S. (2015). Phytochemical profiles and nutraceutical properties of corn and wheat tortillas. *Tortillas: Wheat Flour and Corn Prroductos AACC International*. pp. 65-96.

Shafgat, S. (2013). Effect of different sprouting conditions on Alpha amylase activity, functional properties of wheat flour and on shelf-life of bread supplemented with sprouted wheat. A thesis presented to The University of Guelph in partial fulfillment of requirements for the degree of master of science in Food Science. Canadá, pp. 8-12.

Sharif, M. K., Butt, M. S. & Anjum, F. M. (2014). Rice bran: a novel functional ingredient. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 54, 807-816.

Shipp, J. & Abdel-Aal, S. M. (2010). Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. *The Open Food Science Journal*, 4, 7-22.

Silva Lizárraga, R. R. (2021). Desarrollo de galletas libres de gluten evaluando sus parámetros fisicoquímicos y sensoriales. Tesis para obtener el título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Lima, p. 14.

Singh, A. K., Rehal, J., Kaur, A. & Jyot G. (2015). Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: a review. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.*, 55 (11), 1575-1589.

Singh, A., Sharma, S. & Singh, B. (2017). Effects of germination time and temperatura on the functionality and protein solubility of sorghum flour *J. Cereal Sci.*, 76, 131-139.

Singh, M., Sinhg, S., Randhawa, H. & Singh J. (2013). Polymorphic homoeolog of key gene of RdDM pathway, ARGONAUTE4\_9 class is associated with pre-harvest sprouting in wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS ONE*, 8 (10).

Tian, B., Xie, B., Shi, J. & Cai, Y. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food. Chem.*, 119 (3), 1195-1200.

Torres, A., Cova, A. & Valera, D. (2018). Efecto del proceso de germinación de granos de *Cajanuscajan* en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. *Rev. Chil, Nutr.*, 45 (4), 324.

Uchegb, N. N. & Ishiwu, C. (2016). Germinated Pigeon Pea (*Cajanus cajan*): a novel diet for lowering oxidative stress and hyperglycemia *Food Sci Nutr.*, 4 (5), 772-777.

Vargas, L. A. (2014). El maíz, viajero sin equipaje. *Anales de Antropología*. Volumen 48. 1ª Edición. 123-137.

Villacrés Poveda, C. E., Tanquina Páramo, I. M., Yáñez guzmán, C. F., Quelal Tapia, M. B., Álvarez Murillo, M. J. & Ramos Moya, M. R. (2019). Impacto del procesamiento sobre los compuestos con propiedades antioxidantes de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.). *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11 (17), 109.

Villanueva-Tiburcio, J. E., Condezo-Hoyos, L. A. & Asquieri, E. R. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) Food Science and Technology, 30, 151.

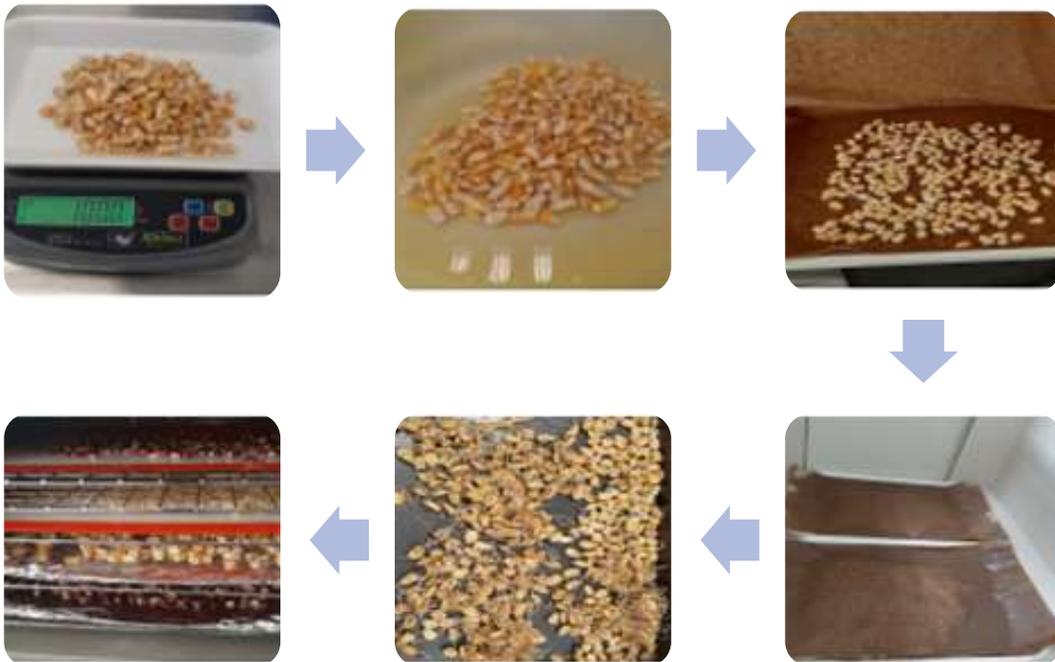
Whole Grains Council, (2008). Definition of Sprouted Grains. <https://wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/whats-whole-grain/sprouted-whole-grains/definitions-sprouted-grains>.

Zydenbos, S., Humhrey-Taylor, V. & Wrigley, C. W. (2016). Cookies: a diverse family of baked goods. Encyclopedia of food grains, 1, 44.

## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

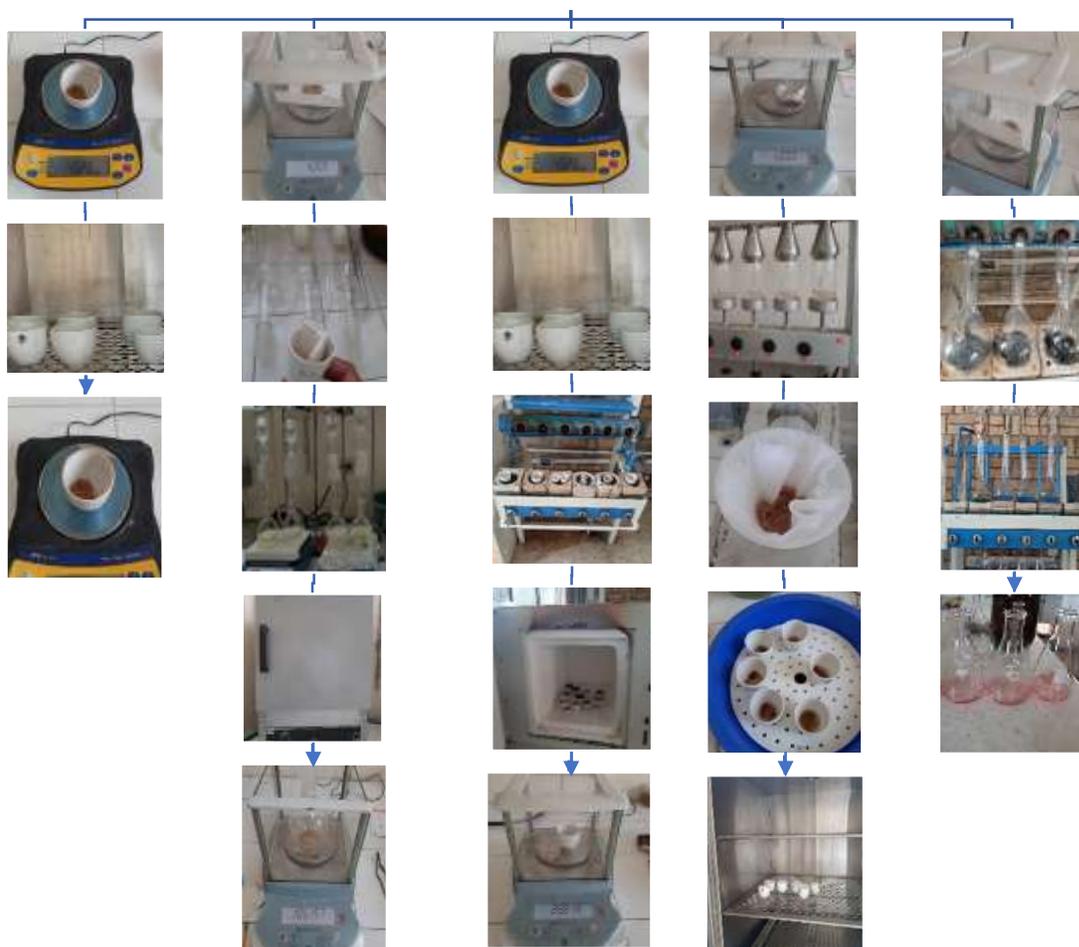
#### Anexo 1. Germinación del maíz



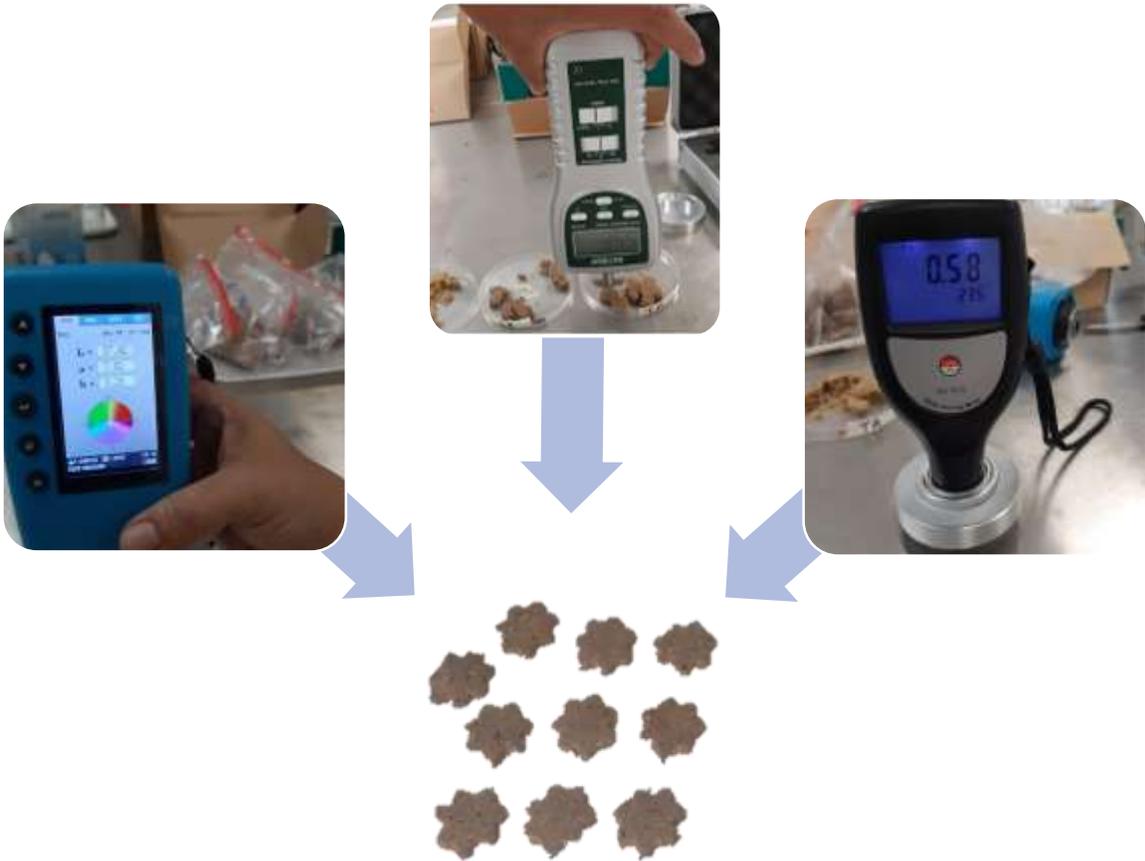
## Anexo 2. Elaboración de las galletas



### Anexo 3. Análisis bromatológico



#### Anexo 4. Análisis físico



## Anexo 5. Análisis de componentes bioactivos

