



**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

**Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería**

**Área Académica de Química**

**Licenciatura en Química de Alimentos**

---

---

**Evaluación fisicoquímica y antioxidante de un  
producto de panificación adicionado con  
harina de germinados de cebada**

Tesis para obtener el título de:

**Licenciada en Química de Alimentos**

**Presenta:**

Ana Mitzi Baltazar Reyes

**Directora de tesis:**

Dra. Fabiola Araceli Guzmán Ortiz

**Co-directora:**

Dra. Alma Delia Román Gutiérrez

Mineral de la reforma, Hidalgo, marzo de 2024



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
 Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
*School of Engineering and Basic Sciences*

Mineral de la Reforma, Hgo., a 20 de marzo de 2024

Número de control: ICBI-D/392/2024  
 Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado a la Pasante de la Licenciatura en Química de Alimentos Ana Mitzi Baltazar Reyes, quien presenta el trabajo de titulación "Evaluación fisicoquímica y antioxidante de un producto de panificación adicionado con harina de germinados de cebada", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Javier Castro Rosas

Secretario: Dra. Patricia López Perea

Vocal: Dra. Fabiola Araceli Guzmán Ortiz

Suplente: Dra. Alma Delia Román Gutiérrez

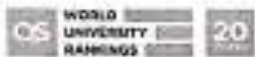
Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
 "Amor, Orden y Progreso"

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval  
 Director del ICBI



QAASYCC



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184  
 Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 2231 Fax 2109  
 direccion\_icbi@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

---

## ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	6
2. Antecedentes.....	8
2.1. Panificación.....	8
2.2. Cereales.....	9
2.2.1. Cebada.....	10
2.3. Germinación.....	11
2.3.1. Cambios bioquímicos durante la germinación.....	13
2.4. Actividad Antioxidante.....	14
3. Planteamiento del problema.....	15
4. Objetivos.....	16
4.1. Objetivo general.....	16
4.2. Objetivos Específicos.....	16
5. Diagrama metodológico.....	17
6. Metodología.....	18
6.1. Materia prima.....	18
6.1.1. Germinación.....	18
6.2. Proceso de panificación.....	18
6.3. Caracterización física del pan.....	19
6.3.1. Determinación de Volumen.....	19
6.3.2. Evaluación de impronta.....	19
6.3.3. Análisis de textura.....	19
6.4. Caracterización química del pan.....	20
6.4.1. Análisis proximal de los panes.....	20
6.4.1.1. Determinación de Humedad.....	20
6.4.1.2. Determinación de Cenizas.....	20
6.4.1.3. Determinación de Grasa cruda (Método de Soxhlet).....	21
6.4.1.4. Determinación de Proteína cruda.....	21
6.4.1.5. Determinación de Fibra cruda.....	22
6.4.2. Determinación de compuestos fenólicos totales.....	23
6.4.3. Determinación de flavonoides.....	24
6.4.4. Determinación de actividad antioxidante mediante ABTS.....	24
6.4.5. Determinación de actividad antioxidante mediante DPPH.....	25
6.5. Análisis estadístico.....	25
7. Resultados y discusión.....	26
7.1. Perfil físico.....	26
7.1.1. Densidad.....	26
7.1.2. Volumen.....	26
7.2. Perfil de textura.....	28
7.2.1. Dureza.....	28
7.2.2. Resistencia.....	29
7.2.3. Cohesion.....	29
7.2.4. Elasticidad.....	30
7.2.5. Gomosidad.....	30
7.2.6. Masticabilidad.....	30
7.3. Perfil químico.....	31

---

7.3.1. Análisis proximal.....	31
7.3.1.1. Fibra.....	31
7.3.1.2. Proteína.....	32
7.3.1.3. Humedad.....	33
7.3.1.4. Grasa.....	33
7.3.1.5. Cenizas.....	33
7.3.2. Fenoles y actividad antioxidante.....	34
7.3.2.1. Fenoles.....	35
7.3.2.2. Flavonoides.....	36
7.3.2.3. ABTS.....	37
7.3.2.4. DPPH.....	37
8. Conclusión.....	39
9. Bibliografía.....	40

---

## Dedicatoria

A Dios porque tu amor y bondad no tiene fin, porque me permites sonreír ante mis logros, que son resultados de tu ayuda.

A mis padres Oscar y Ana por todo el apoyo, paciencia y dedicación que pusieron en mis estudios, por nunca rendirse ante todas las adversidades y siempre estar cuando más lo necesito, por todo su amor y cariño.

A mis hermanos Day y Yael por siempre sacarme una sonrisa en mis días malos, por estar conmigo y para mí.

A mis abuelitos Mamá Gusti y Papá Vicente por alentarme a mis estudios y brindarme unos años maravillosos a su lado.

A mi abue Susana por apoyarme en mis estudios y siempre impulsarme a dar un paso más.

---

## **Agradecimientos**

Agradezco a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el camino correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez.

A mis padres por nunca dejarme sola y siempre echarme porras para seguir adelante aun en los días más difíciles, por quererme y aguantarme en mis días malos. A mis hermanos por siempre acompañarme en mis noches de tareas, por acompañarme en mis aventuras y travesuras. A cada persona que estuvo conmigo, por impulsarme a ser mejor, por ayudarme, por tu amor. Infinitas gracias.

A mi abue Susana, Tío Cristian, Tío Claudio, Tía Lupita, Xime y Owen por apoyarme en cada paso que di en mis estudios, por echarme porras en cada logro, por la compañía, las risas y las lágrimas.

A mis amigos y compañeros de la carrera por todas las tardes de estudio, las comidas en la universidad y por todos los aprendizajes que dejaron en mi.

A la doctora Fabi, por recibirme en el laboratorio y apoyarme desde el inicio, por no rendirse, por todo su apoyo dentro y fuera de la universidad.

A la doctora Alma por recibirme en el laboratorio y su apoyo durante toda la carrera.

A los amigos del verano delfín Chava y Sam por apoyarme en los experimentos relacionados a esta investigación.

---

## 1.- Introducción

La panificación en México data de la época prehispánica, debido a que ya se elaboraba pan de maíz como ofrenda para los dioses, sin embargo, con la llegada de los españoles la panificación se vio modificada al fusionar las culturas y a la incorporación de harina de trigo en la elaboración.

Durante el Porfiriato varios aspectos se vieron influenciados por los franceses tal es el caso de la gastronomía, panadería y repostería. Incorporando técnicas y recetas nuevas a nuestra cultura mexicana (Garrido, 2017).

Años más tarde, llegaron a México las primeras pastelerías extranjeras dando inicio a la venta de pan en lugares propiamente establecidos actualmente conocidos como El Globo (1884) y El Molino (1930). Hasta la fecha México es reconocido como el país número uno a nivel mundial en riqueza de formas y sabores. Entre éstas destacan: conchas, magdalenas, moños, cañones, chilindrinas, corbatas, panqués, cuernitos, orejas, cochinitos, almejas, besos, barritas, ladrillos, condes, cocol, gendarmes, borrachos, huesos, alamar, rosca de canela, amores, trenzas, banderillas, hojaldras, ojo de buey, volcanes, polvorones, teleras, bolillos, entre muchos más. Se cree que el inicio de la industria de la panificación fue en 1524 y actualmente el Estado de México, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Ciudad de México, Sonora y Michoacán concentran más de la mitad de su economía en la industria panificadora (Díaz, 2018).

Datos de la Anpropan señalan que México tiene un consumo per cápita de pan de 32.5 kg, estando por debajo de la ingesta recomendada por la OMS. Siendo la obesidad una de las principales razones por la baja ingesta de este alimento en la dieta diaria (Shamah Levy, y otros, 2020).

Es por ello que se han llevado a cabo diversos estudios en alimentos que se consumen en pequeñas cantidades, tomando especial atención en los cereales. Tal es el caso de la cebada, la cual se utiliza principalmente como alimento para ganado o en la industria cervecera.

El grano de cebada es una excelente fuente de fibra soluble e insoluble, así como de compuestos bioactivos, tales como la vitamina E, complejo B, minerales y compuestos fenólicos (Gupta, Abu-Ghannam, & Gallagher, 2010).

Tomando en cuenta los estudios recientes en la cebada podemos incorporar la cebada en varios productos alimenticios, tales como guisos, sopas, alimentos para bebés o como sustituto de algún otro cereal (Byung-Kee & Ullrich, 2008).

---

Sin embargo, se ha demostrado que a partir de la implementación de distintos procesos para la mejora de un producto alimenticio los componentes bioactivos presentes en el grano de la cebada pueden verse afectados o mejorados gradualmente (García Castro, Román Gutiérrez, Castañeda Ovando , & Guzmán Ortiz, 2023)

El malteado de cebada utilizado en la elaboración de cerveza ha sido una motivación para centrarse en la germinación, para comprender mejor las interacciones y cambios durante la germinación y elongación de las plántulas (Daneri-Castro, Svensson, & Roberts, 2016).

Durante la germinación se puede mejorar el valor nutricional de los granos al aumentar los aminoácidos libres, azúcares simples, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos como actividades antioxidantes. Por lo tanto, la germinación es una excelente estrategia de ingeniería de alimentos para mejorar el valor nutricional de los granos (Ren-You, y otros, 2019) y posterior incorporación a un producto panificado.



---

## 2. Antecedentes

### 2.1 Panificación

Los habitantes de México en tiempos prehispánicos ya elaboraban tortillas de maíz para usos ceremoniales en ofrendas, se utilizaban principalmente como petición de mano y objetos de homenaje. La mayor parte de la cosecha de maíz era utilizada para preparar tortillas llamadas cocolli, que quiere decir pan torcido, y una especie de empanadillas de maíz sin cocer llamadas uilocpalli. Fue hasta la llegada de los españoles, que se incorporó harina de trigo en la preparación de pan, pues eran grandes consumidores de este producto preparado con trigo, quienes enseñaron a los indígenas a elaborarlo y cuyos resultados están a la vista en la rica variedad de formas y usos (Barros & Buenrostro, 2007). En 1525, se sabe que Hernán Cortés ordenó la primera venta de pan, en donde se exigía que las panaderías ofrecieran su producción en la plaza pública. El pan debía tener un peso específico, además de estar bien cocido y seco para evitar la pronta descomposición, se vendía a un precio previamente establecido por el cabildo de la época. Durante la época colonial se comenzó a repartir el pan dulce y salado elaborado en las panaderías, tiempo después comenzaron los primeros expendios de pan, pasarían aún más años para que las grandes pastelerías francesas llegaran a México como el Globo (1884) y el Molino (1930) (Conoce México, 2017).

El pan en México forma parte de una gran cultura y tradición, por ello, es muy probable que sea el país con mayor variedad de panes, debido a que somos resultado de una fusión cultural indígena, (náhuatl, tolteca, zapoteca, mixteca, otomí, tzeltal, mayas, tarahumaras, huicholes, etc.), y lo que las culturas europeas, principalmente española y francesa nos heredaron (Conoce México, 2017).

La Cámara Panificadora calcula que más del 30% de las panaderías tradicionales ahora pertenece al sector informal que crece en México y produce casi el 40% de las ventas. En México el consumo de los derivados del trigo marca una línea ascendente hasta un récord de 116 millones de toneladas. El segmento que más crece es el pan artesanal. La panadería mexicana, según un estudio, se está concentrando en micro empresas y su ubicación es principalmente urbana. Cerca de 37.000 pequeñas panaderías han prosperado en México durante los últimos años (CANAIMPA, 2017).

En México se tiene reportado un consumo per cápita anual de 35 Kg de pan, según reportes de la OMS los mexicanos estamos dentro del promedio de consumo anual.

---

A nivel nacional, el consumo de pan dulce es entre 65% y 70%, el resto son panes blancos elaborados en 40 mil negocios, la mayoría pequeñas empresas (CANAIMPA, 2017).

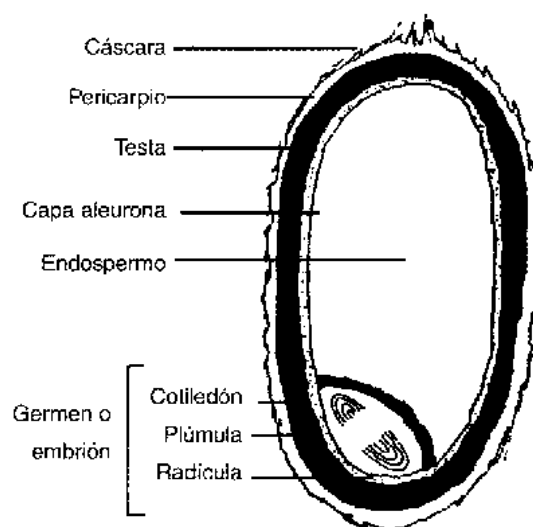
La Organización Panamericana de la Salud advierte que los panes industrializados, tanto dulces como salados, son una gran fuente de grasas totales, grasas saturadas, azúcares y particularmente sodio, el cual puede traer consigo padecimientos cardiovasculares, siendo estos la primera causa de muerte en el país (INEGI, 2021).

## 2.2 Cereales

Los cereales de grano son considerados como el eje de la agricultura, esto debido al cultivo y aprovechamiento de su semilla comestible, además de ser la fuente más productiva de alimentos. Los cereales forman una parte importante de la dieta de muchas personas, entre ellos se incluye el maíz, sorgo, mijo, trigo, arroz, cebada, avena y tritical, un cruce entre el trigo y el centeno (Latham, 2002)

La estructura de la semilla de todos los granos de cereales (Figura 1) está compuesta por:

- Embrión: la parte que crece para formar la nueva planta (plántula).
- Endospermo: la sustancia nutritiva utilizada por la plántula para crecer, hasta desarrollar una hoja verde. El endospermo está rodeado por la capa de aleurona (gluten).
- Envolturas o cáscaras: protegen a la plántula y pueden ayudar a su rápido desarrollo. En los cereales están adheridas al pericarpio del fruto (Food & Agriculture Org., 1985).



**Figura 1** Corte trasversal de un grano de cereal CITATION Latham 2002 (Latham, 2002)

---

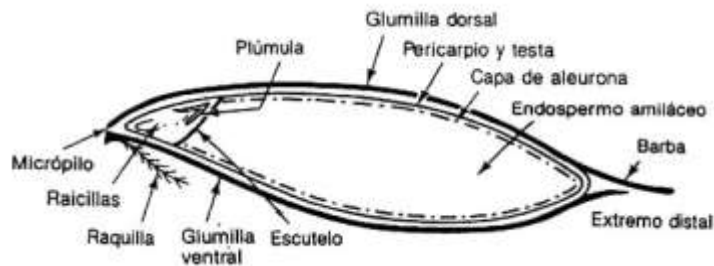
El embrión es la parte del grano que germina si se planta el grano o si se lo sumerge en agua. Es muy rico en nutrientes. Aunque pequeño en tamaño, el embrión generalmente contiene 50% de la tiamina, 30% de la riboflavina y 30% de la niacina del grano entero. La aleurona y otras capas externas contienen 50% de la niacina y 35% de la riboflavina. El endospermo generalmente contiene una tercera parte o menos de las vitaminas B. Comparado con otras partes, es más pobre en proteínas y minerales, pero es la fuente principal de energía, en la forma de un carbohidrato complejo, el almidón (Latham, 2002).

Los granos y cereales constituyen una importante fuente de proteínas de alto valor biológico y de energía. aunque carecen de uno de los ocho aminoácidos esenciales, la lisina. Se ha reportado que tienen una menor necesidad de tierra, mano de obra y otros recursos en comparación con proteínas de origen animal. Es por ello que en los países en desarrollo los granos y cereales son una importante fuente de nutrientes, si no es que la única (Callejo González, 2002).

### **2.2.1 Cebada**

La cebada es una planta graminácea parecida al trigo, de espigas formadas por espiguillas uniformes y grano aguzado en los extremos (*Hordeum vulgare L.*); nombre común de las especies de cereal de es género de gramíneas originario de Asia y Etiopía; es una de las plantas agrícolas más antiguas (Castillo L., 2002).

El grano maduro de la cebada se compone de dos partes (Fig. 2), cada una originada en un fondo celular diferente: el embrión (diploide) y el endospermo (triploide) (Engell, 1989). Los constituyentes principales del embrión son el escutelo (el cotiledón altamente modificado), el coleoptilo (vainas para el brote embrionario), las hojas del follaje, el ápice del brote, el mesocotilo, la raíz, caparazón de la raíz y la vaina para las raicillas (Testerink, 2001). En el grano en desarrollo, se identifican cuatro tipos de tejidos de endospermo cuyas células realizan diferentes funciones: la capa de transferencia del endospermo basal, la región circundante del embrión, la capa de aleurona y el endospermo amiláceo (Becraft & Gutierrez Marcos, 2012). En el endospermo del grano maduro, sin embargo, sólo las células de la capa de aleurona permanecen viables; están en un estado latente, esperando la absorción de agua (imbibición) por la semilla.



**Figura 2** Sección longitudinal (vertical) de un grano de cebada (FAO, 2017)

En la actualidad, la cebada se produce en casi todo el mundo, destinando principalmente a dos tipos de mercado: como alimento para ganado y para producción de malta (López P. , 2005). Particularmente en México, aproximadamente el 70% de la cebada que se produce es específica para ser utilizada por la industria maltera y el 30% restante corresponde a variedades que se utilizan fundamentalmente para alimentación de ganado (Sanchez , 2008).

### 2.3 Germinación

La germinación es el proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta convertirse en una nueva planta. Este proceso se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe. Para que este proceso tenga lugar, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula (Courtis, 2013).

La germinación tiene como objetivo generar nutrientes, principalmente azúcares y aminoácidos mediante la modificación del endospermo, la cual ocurre por el desarrollo, distribución y acción de enzimas (  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas, proteasas, arabinoxilanos y  $\beta$ -glucanasas) (Castañe, 2012).

La germinación comprende cuatro etapas principales:

- a) La imbibición de agua
- b) La síntesis y activación de los sistemas enzimáticos
- c) Degradación de las sustancias de reservas
- d) Elongación de las células del embrión y emergencia de la radícula

- a) Imbibición

En un suelo adecuadamente provisto de agua existe un gradiente muy pronunciado

---

de  $\psi$  entre éste y la semilla. Este fenómeno de entrada de agua se denomina imbibición y es puramente físico. La cantidad que penetra depende de las especies, pero es por lo general muy alta, en los cereales es del 40 al 60% del peso de la semilla seca. La cantidad de agua absorbida por las diferentes especies depende del tipo de sustancias de reserva que contengan, aquellas con endospermo amiláceo tienen un grado de hidratación menor que las que presentan endospermo proteico, altamente hidratable. El agua penetra a través de los tegumentos, la micropila, la lente (estrofiolo), las paredes y las membranas celulares y se liga por uniones de hidrógeno a los coloides y otras sustancias eléctricamente cargadas. Al inicio el ingreso de agua es rápido. Las macromoléculas y estructuras se hidratan y recuperan sus formas funcionales, durante este periodo, los solutos de bajo peso molecular pueden perderse desde la semilla (Courtis, 2013).

b) La síntesis y activación de los sistemas enzimáticos

En esta fase ocurren dos fenómenos fundamentales para la germinación. El primero es la reactivación de las enzimas, inactivadas por la extrema desecación y, el segundo, la síntesis de otras inexistentes. Para iniciar el crecimiento del embrión las reservas de la semilla se movilizan, convertidas de la forma insoluble a la soluble, o a formas derivadas transportable y/o metabolizables. El sistema mejor estudiado es indudablemente del endospermo de los cereales. Durante la germinación, se producen enzimas como amilasas y maltasas que romperán el endospermo amiláceo a glucosa. Estas enzimas son producidas en la capa de aleurona que rodea al endospermo. Las experiencias realizadas demuestran que el embrión sintetiza Giberelinas que desatan este proceso. En los cotiledones de las semillas que almacenan lípidos, los ácidos grasos son liberados de los cuerpos lipídicos por lipoxigenasas, entran en los glioxisomas (pequeños organelos) donde sucesivos ciclos de oxidación generan acetyl-coA, que será usada para formar succinato en el ciclo del glioxilato. Este ácido orgánico ingresa a la mitocondria y al ciclo de Krebs. El oxalacetato obtenido del ciclo de los ácidos tricarbónicos actuará posteriormente como sustrato para la síntesis de sacarosa. Las Gas desempeñan un papel muy importante en la germinación mediante la inducción de la síntesis de  $\alpha$ -amilasa y su posterior secreción desde las capas aleuronales al endospermo. Este proceso es inhibido por el ABA (Courtis, 2013).

c) Degradación de las sustancias de reserva.

Las enzimas degradan las reservas de la semilla y ponen a disposición del embrión no sólo los nutrientes, sino también energía generada por la fermentación y la respiración de los sustratos solubilizados. Es así como los hidratos de carbono insolubles (almidón, inulina) son degradados por hidrolasas a monosacáridos solubles, como la glucosa, fructosa, etc. Los triglicéridos, principales lípidos de reserva de muchas leguminosas, son degradados en tres orgánulos: cuerpos

---

lipídicos, mitocondrias y glioxisomas, son descompuestos a glicerol y ácidos grasos. Las proteínas de reserva son hidrolizadas a aminoácidos por proteinasas. En los cereales y otras gramíneas, las proteínas de reserva se encuentran en forma de cuerpos proteicos en la capa de aleurona y en menor cantidad, en el endospermo (Courtis, 2013).

d) Elongación de las células del embrión y emergencia de la radícula.

Al final de la fase III, el embrión dispone de suficientes nutrientes para crecer normalmente. Todos los productos de la hidrólisis nutren al embrión, para el inicio de su crecimiento (Courtis, 2013).

### **2.3.1 Cambios bioquímicos durante la germinación**

Los procesos bioquímicos durante la germinación incluyen reacciones que implican citólisis, proteólisis y amilólisis; tales reacciones se describen a continuación (Callejo González, 2002)

1. Durante el remojo, comienza la entrada de agua hacia el interior del grano (en general por la parte donde comienza el embrión (Courtis, 2013).
2. El grano de cebada contiene cantidades de  $\beta$ -amilasa latente en formas solubles e insolubles; durante la germinación, la  $\beta$ -amilasa se solubiliza por completo (Lallana & Lallana, 2001).
3. En el embrión ocurre una producción de ácido giberélico (AG) y giberelinas que se difunden hacia el endospermo. Una vez en el endospermo, el AG se propaga hacia el escútelos y la capa de aleurona; la producción de enzimas inicia en el escútelos y posteriormente continúa en el resto de la capa de aleurona (Ranki, 1990); anterior a la activación enzimática se forman enzimas:  $\alpha$ -amilasa, endo  $\beta$ -glucosidas, pentosanasa, endoproteasas y dextrinasas. Después de 2 días de germinación, finaliza la producción de giberelinas, precisamente la capacidad de las cebadas para producir enzimas hidrolíticas depende de la cantidad y la viabilidad de las giberelinas generadas (Kusaba, Kobayashi, Yamaguchi, Tkahashi, & Takeda, 1991).
4. A continuación, se hidroliza aproximadamente un 10% de almidón y el contenido de amilosa se eleva un 22% (cebada) hasta 26% (malta) aproximadamente.

- 
5. Después se comienzan a degradar los  $\beta$ -glucanos y arabinosilanos que se encuentran en la pared celular del endospermo, con ello se consigue la exposición de las partes proteicas que protegen a los gránulos de almidón.
  6. Las proteínas son degradadas parcialmente por las proteasas y peptidasas, liberando nitrógeno amino libre (FAN: Free Amino Nitrogen). La proteólisis de los granos es de gran importancia debido al Fan liberado, pues no sólo es necesario para el crecimiento del embrión, sino que asegura la producción eficiente de enzimas durante todo el proceso de germinación (Palmer, 1989).
  7. Finalmente, el resto de almidón es degradado hasta la obtención de azúcares principalmente maltosa y glucosa, nutriendo el embrión para la posterior formación de raíces en el grano (Castillo L., 2002).
  8. Después de la hidrólisis del almidón ocurre un metabolismo denominado extracto de agua fría, el cual consiste en la formación de aminoácidos y azúcares durante la respiración, los cuales se manifiestan con la formación de raicillas y acrospira (Castillo L., 2002).

## **2.4 Actividad antioxidante**

En la última década, se han estudiado frutas, verduras y cereales para diversos compuestos bioactivos, como fenoles y flavonoides, ya que se encontraron efectos promotores de la salud y prevención de enfermedades tanto en estudios in vitro como in vivo. Los fitoquímicos, por definición, son sustancias que pueden contribuir a la salud o son esenciales para el mantenimiento de la salud (Siebenhandl-Ehn, y otros, 2011).

A diferencia de las vitaminas o minerales, no hay evidencia de que sean esenciales o incluso necesarios para mantener la vida. Se plantea la hipótesis de que los fitoquímicos que se encuentran en la matriz de fibra, además o en lugar de la fibra en sí, son responsables de la reducción del riesgo de diversas enfermedades asociadas con el estrés oxidativo, como cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Jacobs & Steffen, 2002). Por lo tanto, el consumo de granos integrales se considera como promotor de la salud, porque los cereales integrales y sus productos presentan una buena fuente de antioxidantes naturales (Decker, Beecher, Slavin, Miller, & Marquart, 2002). Los polifenoles constituyen junto con los carotenoides los únicos antioxidantes dietéticos presentes en el colon en concentraciones valiosas. La liberación de compuestos fenólicos en el colon puede explicar la asociación inversa entre el consumo de granos enteros y la incidencia de ciertas enfermedades crónicas (Siebenhandl-Ehn, y otros, 2011). Además, se

---

observó un aumento aparente de la liberación de antioxidantes durante la incubación enzimática en estudios in vitro (Menga, Fares, Troccoli, Cattivelli, & Baiano, 2010).

Los granos de cebada contienen una amplia gama de ácidos fenólicos, que son derivados del ácido benzoico (C6-C1) o del ácido cinámico (C6-C3). En general, se informaron niveles más altos de compuestos fenólicos para la cebada y la avena en comparación con el trigo y el centeno. El ácido ferúlico es el ácido fenólico más abundante presente en los cereales, representando hasta el 90% del total de polifenoles. Se dice que los compuestos fenólicos exhiben uno o más de los siguientes papeles: eliminador de radicales libres, agente reductor, productor potencial de metales prooxidantes y atenuador de la formación de oxígeno singlete (Siebenhandl-Ehn, y otros, 2011).

### **3.- Planteamiento del problema**

Los radicales libres son moléculas altamente reactivas que, al interactuar en los sistemas biológicos, provocan cambios químicos perjudiciales para la salud. Su influencia es notable en el proceso de envejecimiento celular. Para contrarrestar este efecto, se han identificado diversos compuestos antioxidantes capaces de retardar dicho proceso. En este contexto, los alimentos funcionales juegan un papel crucial en la promoción de la salud. Sin embargo, el acceso a estos productos beneficiosos representa un desafío debido a su costosa elaboración y adquisición en el mercado. Por esta razón, se propone desarrollar un producto de panificación enriquecido con harina de germinados de cebada, con el objetivo de ofrecer beneficios para la salud, como la reducción del riesgo de enfermedades asociadas al estrés oxidativo, de manera asequible para la población en general.

### **4.- Objetivos**

#### **4.1 Objetivo general**

Evaluar las características fisicoquímicas y actividad antioxidante de un producto de panificación adicionado con harina germinada de cebada y harina de cebada sin germinar.

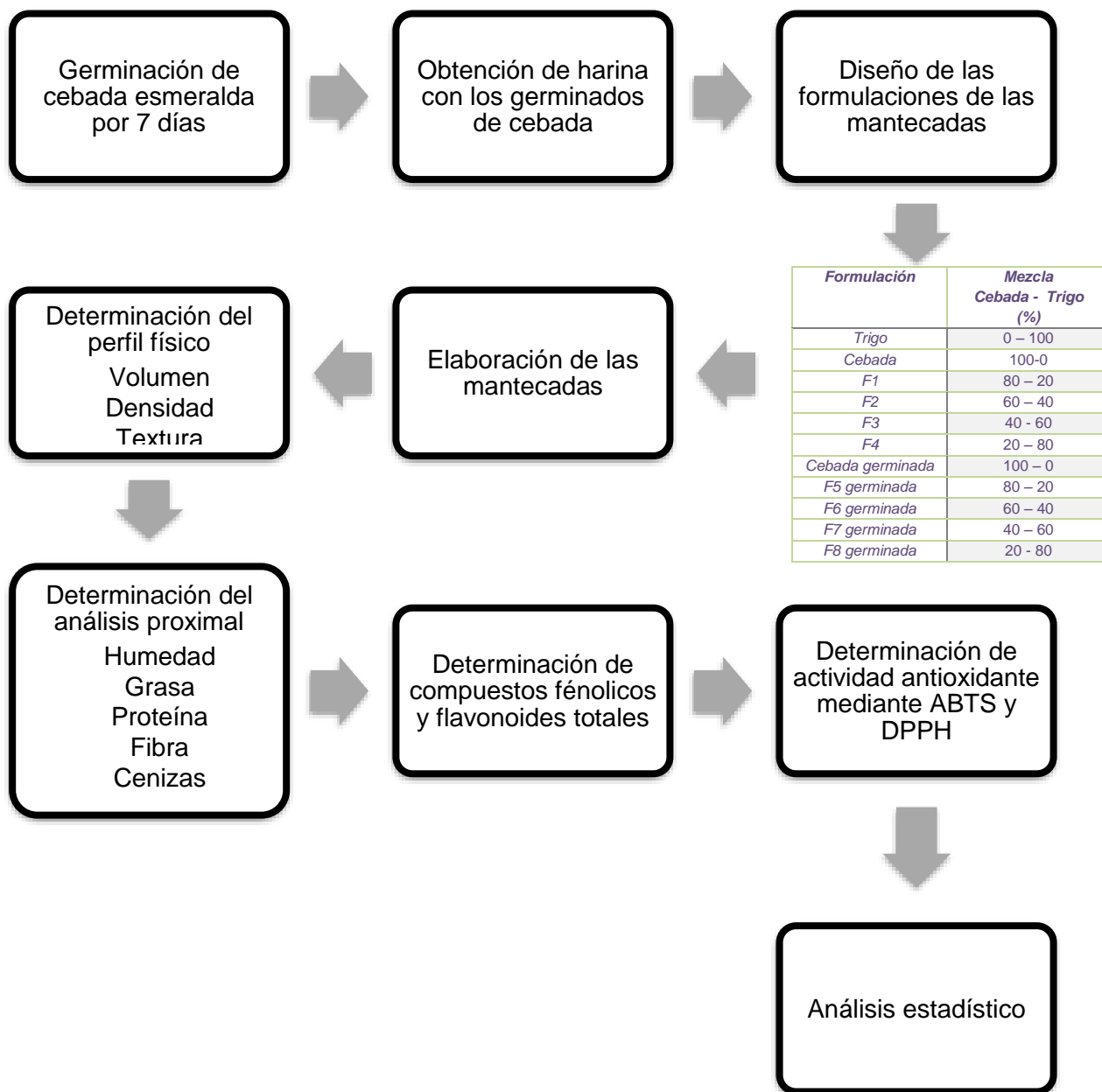
#### **4.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar un producto de panificación tipo mantecada a base de trigo y harina de cebada germinada y sin germinar, utilizando diferentes proporciones de cebada (0, 20, 40, 60 y 80% de cebada)



- 
- Analizar las propiedades fisicoquímicas de las diferentes formulaciones del producto de panificación tipo mantecada con cebada germinada y sin germinar.
  - Determinar la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides de las diferentes formulaciones de pan desarrolladas.
  - Evaluar la actividad antioxidante de las formulaciones de pan utilizando a través de métodos espectrofotométricos.

## 5.- Diagrama metodológico



---

## 6. Metodología

### 6.1 Materia prima

La cebada utilizada en este proyecto fue variedad Esmeralda obtenida de Apan Hidalgo, y el trigo se obtuvo en la central de abastos.

#### 6.1.1 Germinación

El proceso de germinación se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Guzmán-Ortiz et al., (2017). Se lavaron y desinfectaron los granos con agua y una solución de hipoclorito al 0.007%, respectivamente. Posteriormente, se realizó una etapa de remojo, la cual consistió en colocar los granos de cebada en recipientes plásticos con una cobertura de agua hervida durante 24 horas.

Una vez realizado el remojo, se prosiguió con el proceso de germinación durante 7 días, el cual se realizó en una incubadora a 26 °C en recipientes plásticos con una cobertura de papel filtro húmedo. El papel filtro utilizado se humedece diariamente y se cambió al 3er día, con el fin de evitar el crecimiento de hongos.

### 6.2 Proceso de panificación

Se ocuparon 83 g de harina de acuerdo a la Tabla 1, 58 g de azúcar, 4 g de polvo para hornear (royal), 2g de vainilla, 1 g de sal, 1 huevo, 29 mL de leche, 29 mL de aceite y 10 mL de agua. Se mezcló el azúcar con el huevo y la vainilla por 1 minuto a punto de chantilly, posteriormente se agregó lentamente la harina, sal y el polvo para hornear, se mezcló todo por 1 min. Por último, se agregaron todos los líquidos restantes (agua, leche y aceite), se mezcló todo por 2 minutos.

Se pesaron 40g de masa en cada capacillo y se dejaron fermentar 30 min en el fermentador. Se precalentó el horno a 201°C por 10 minutos, posteriormente se bajó la temperatura a 180°C. Se hornearon las mantecadas por 15 min.

**Tabla 1.** Formulaciones de pan tipo mantecada con cebada germinada y sin germinar

Abreviación	Formulación
Trigo	Trigo (100%)
Cebada sin germinar	Cebada sin germinar (100%)
F1	Cebada sin germinar /trigo (80/20%)
F2	Cebada sin germinar /trigo (60/40%)
F3	Cebada sin germinar /trigo (40/60%)
F4	Cebada sin germinar /trigo (20/80%)
Cebada germinada	Cebada germinada/trigo (100%)
F5 ger	Cebada germinada /trigo (80/20%)
F6 ger	Cebada germinada /trigo (60/40%)
F7 ger	Cebada germinada /trigo (40/60%)
F8 ger	Cebada germinada /trigo (20/80%)

---

## **6.3 Caracterización física del pan**

### **6.3.1 Determinación de Volumen**

El volumen específico se midió por el método de desplazamiento de semillas, adaptación del método 10-05.01 de la AACC (2000). Los panes fríos, se pesaron en una balanza granataria. El volumen del pan se midió por desplazamiento de sopa de munición en una probeta de 500 mL. La determinación se realizó después de haber colocado el pan dentro de la probeta, dejando caer la semilla libremente, registrando el volumen desplazado el cual equivale al volumen del pan (AACC, 2000)

### **6.3.2 Evaluación de la impronta**

Se realizaron 4 cortes verticales uniformes de tal manera que se puedan observar las burbujas formadas por la cocción del mismo. Se colocó el trozo de pan sobre una almohadilla de tinta, sin comprimir el pan, para evitar errores posteriormente se colocó el trozo de pan entintado sobre una hoja de papel y comparar los resultados entre sí.

### **6.3.3 Análisis de textura**

El pan se cortó en trozos de 20 mm de espesor. El Perfil de Textura (TPA) de pan cocido al vapor se probó utilizando el analizador de textura TA-XT2i (Scarsdale, NY; Stable Micro Systems, Reino Unido) con su sonda P35. Los ajustes del instrumento fueron el modo de compresión, tipo de disparador, auto-5 g; velocidad de pretest, 2,0 mm / s; velocidad posttest, 1,0 mm / s; velocidad de prueba, 1,0 mm / s; altura de compresión, altura de las muestras; cepa, 50%; intervalo entre dos compresiones, 5 s; Tiempos de compresión, 2 s. Cada muestra se midió tres veces y el resultado final fue el promedio.

---

## 6.4 Caracterización química del pan

### 6.4.1 Análisis proximal de los panes

El análisis de la composición química proximal se realizó siguiendo la metodología de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists – AOAC., 1990).

#### 6.4.1.1 Determinación de Humedad

En charolas de aluminio a peso constante se colocaron 10 g de muestra en una estufa a  $105 \pm 1^\circ\text{C}$  durante aproximadamente 4 h. El procedimiento se realizó por triplicado. El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_0 - P_f}{m} \times 100$$

Donde:

$P_0$  = peso de la charola con la muestra antes del secado

$P_f$  = peso de la charola con muestra después del secado

$m$  = peso de la muestra fresca

#### 6.4.1.2 Determinación de Cenizas

En crisoles a peso constante se colocaron 3 g de muestra y se incineran en la parrilla de calentamiento hasta que la muestra ya no desprenda mas humo, posteriormente se colocan en una mufla a  $550^\circ\text{C}$  hasta obtener un color homogéneo de las cenizas y un peso constante del crisol. Se realizó el procedimiento por triplicado. El porcentaje de las cenizas se calculó por medio de la siguiente formula:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{P_f - P_0}{m} \times 100$$

Donde:

$P_f$  = peso del crisol con la muestra después del incinerado

$P_0$  = peso del crisol a peso constante

$m$  = peso de la muestra fresca

#### 6.4.1.4 Determinación de Grasa cruda (Método de Soxhlet)

---

Se colocaron 6 g de muestra libre de humedad (se empleó la obtenida del análisis de humedad) en un cartucho de celulosa, se colocó algodón y se introdujo en el compartimento de extracción de un equipo Soxhlet.

Por otro lado, en un matraz de 250 mL (previamente a peso constante) se adicionan 150 mL de éter de petróleo se aplicó calentamiento moderado, hasta la extracción total de grasa (aprox. 4 h), regulando que el reflujo sea gota a gota y constante. Una vez completada la extracción, la mayor parte del solvente se recuperó con un rotavapor y el resto se eliminó colocando el matraz en una estufa a 65°C hasta peso constante. Se realizó el procedimiento por triplicado.

El porcentaje de grasa se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\%Grasa Cruda = \frac{P_f - P_0}{m} \times 100$$

Donde:

$P_f$  = peso del crisol con la muestra después del incinerado

$P_0$  = peso del crisol a peso constante

$m$  = peso de la muestra fresca

#### 6.4.1.4 Determinación de Proteína cruda

- Catalizador

Se prepara con 1 g de sulfato de cobre pentahidratado con 10 g de sulfato de potasio.

- Digestión

En un tubo de digestión Kjeldahl se colocaron 2.5 g de muestra previamente desgrasada, 2.5 g de catalizador y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. El tubo se coloca en el digestor durante aproximadamente 2 h a 370°C (hasta que su contenido se observa completamente traslúcido, sin partículas negras en suspensión, que indican materia orgánica no digerida), la solución se torna azul verdoso. A la par se corren blancos preparados de la misma forma, pero sustituyendo la muestra por sacarosa.

- Destilación

La muestra digerida se somete a destilación. El destilador automático se programa para adicionar el contenido de tubo 60 mL de NaOH al 50%, con tiempo destilación de 6 minutos al 60% de potencia de vapor. El destilado se recolecta en un matraz Erlenmeyer que contiene 50 mL de solución indicadora.

- Valoración

---

El contenido del matraz de recolección se valora con HCl 0.01 N hasta el vire de verde esmeralda a café rojizo.

El porcentaje de proteína cruda se calcula mediante las fórmulas siguientes:

$$\%Nitrógeno = \frac{(P - B) \times N \times meq}{m} \times 100$$

$$\%Proteína = \%Nitrógeno \times F$$

Donde:

$P$  = volumen gastado en la titulación de la muestra (mL)

$B$  = volumen gastado en la titulación del blanco (mL)

$N$  = normalidad de HCl

$meq$  = miliequivalentes de nitrógeno (0.014)

$m$  = peso de la muestra (g)

$F$  = factor de conversión

#### 6.4.1.5 Determinación de Fibra cruda

- Digestión ácida

Pesar 2 g de muestra, con un contenido de grasa menor a 1%, transferirla a un vaso de Berzelius de 600 mL. Adicionar 200 mL de una solución caliente de ácido sulfúrico al 1.25% y una gota de antiespumante, así como perlas de ebullición. Coloque el vaso en el aparato de digestión con refrigerante, mantener en reflujo durante 30 minutos, rotando el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes. Remover el vaso de Berzelius del equipo y filtrar en un embudo Buchner sobre tela de lino enjuagando el vaso con 50 mL de agua caliente. Lavar el material insoluble con 3 porciones de 50 mL de agua caliente, usando succión ligera. Eliminar el exceso de agua por succión.

- Digestión básica

Recuperar cuantitativamente el material del embudo y colocarlo de nuevo en el vaso de Berzelius. Adicionar 200 mL de solución caliente de hidróxido de sodio al 1.25% y una gota de antiespumante, así como perlas de ebullición y colocarlos en el aparato de digestión con refrigerante, mantener en reflujo durante 30 minutos, rotando el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.

Lavar con 25 mL de solución de ácido sulfúrico 1.25% caliente y con 3 porciones de 50 mL de agua. Deshidrate parcialmente con 25 mL de etanol al 95%.

Transferir la muestra, junto con la tela de lino, a un crisol con peso constante. Introducir el crisol en una estufa de secado por 20 minutos y una vez obtenido el peso constante, registrar.

El contenido del crisol se incinera en una parrilla de calentamiento hasta que la muestra ya no desprenda más humo. Posteriormente se coloca en una mufla a 550°C

---

hasta obtener un color homogéneo de las cenizas y un peso constante del crisol. Realizar el procedimiento por triplicado y para un muestra blanco, la cual solo consistirá en un filtro de tela de lino del mismo tamaño que se usó anteriormente. El porcentaje de cenizas se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\%FDA = \frac{(P_4 - B_{Residuo}) - (P_5 - B_{Cenizas})}{P_6} \times 100$$

Donde:

$P_1$  = peso del crisol más residuo

$P_2$  = peso del crisol más cenizas

$P_3$  = peso del crisol o papel solo

$P_4$  = peso del residuo ( $P_1 - P_3$ )

$P_5$  = peso de las cenizas ( $P_2 - P_3$ )

$P_6$  = peso de la muestra

$B$  = Blanco

#### 6.4.2 Determinación de compuestos fenólicos totales

Para la determinación de compuestos fenólicos totales se siguió el método descrito por (Abdel-Aal & Hucl, 1999). Para la extracción se pesaron 0.25 g de cada una de las muestras y se colocaron en tubos de centrifuga de 15 mL, posteriormente se adicionaron 5 mL de metanol al 80% y se agitaron durante un periodo de 18 h protegiendo las muestras de la luz. Posteriormente se centrifugaron las muestras a 5000 rpm durante 10 minutos, se recolectó el sobrenadante de las muestras en tubos de centrifuga de 15 mL, los cuales también se protegieron de la luz. Se preparó una solución estándar de ácido gálico pesando 0.05 g de ácido gálico y disolviéndose en 1 mL de etanol, posteriormente se llevó a un volumen de 10 mL con agua destilada (Concentración 5 mg/mL de ácido gálico); se prepararon diferentes concentraciones del estándar para realizar la curva de calibración de 0 a 0.5 mg/mL.

Para llevar a cabo la reacción colorimétrica, se colocaron 20  $\mu$ L de cada una de las diluciones o del extracto de la muestra en tubos eppendorf, se adicionaron 1580  $\mu$ L de agua destilada, 100  $\mu$ L de reactivo de Folin Ciocalteu diluido 1:2 y 300  $\mu$ L de carbonato de sodio al 10 %, se mezclaron. Todas las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente y protegidas de la luz durante 2 h, finalizando este tiempo se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra.



---

### 6.4.3 Determinación de flavonoides

La extracción de flavonoides fue realizada mediante el método descrito por Gorinstein et al. (2007). Para la extracción se pesaron 0.5 g de cada una de las muestras y se colocaron en tubos para centrifuga de 15 mL, posteriormente se adicionaron 5 mL de metanol al 80% V/V y se agitaron durante 2 horas protegiendo las muestras de la luz. Para la llevar a cabo la reacción se colocaron 500  $\mu\text{L}$  del extracto de mantecada y 75  $\mu\text{L}$  de solución de  $\text{NaNO}_2$  al 5%, se dejó reposar por 6 minutos, posteriormente se agregaron 150  $\mu\text{l}$  de solución de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  al 10% y se dejó reposar por 5 minutos, luego se añadieron 500  $\mu\text{l}$  de solución de  $\text{NaOH}$  1M y 2.5 mL de agua destilada. La solución se mezcló bien y la absorbancia se midió inmediatamente contra el blanco a 510 nm usando un espectrofotómetro. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de quercetina (EQ)/100 g de muestra.

### 6.4.4 Determinación de actividad antioxidante mediante ABTS

Se utilizaron los extractos de compuestos fenólicos totales, obtenidos a partir de la metodología descrita por (Abdel-Aal & Hucl, 1999).

El tratamiento de estas muestras se realizó conforme a la metodología descrita por Pastrana-Bonilla & col. (2003). Se preparó una solución madre de  $\text{ABTS}^+$  7 mM, 2.4 mM con perisulfato de potasio ( $\text{KSO}_8$ , Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, 216224), la solución se dejó en reposo por un periodo de 12 h en refrigeración y protegido de la luz, posteriormente se tomó una alícuota de 550  $\mu\text{L}$  y se aforó a 50 mL con etanol puro (solución 2), la solución se protegió de la luz y se mantuvo en hielo durante su uso. Se tomó la lectura a 734 nm, la cual debe estar en  $0.7 \pm 0.02$  A. Esta absorbancia fue ajustada con etanol para bajar la absorbancia o solución madre para subir la absorbancia.

Para analizar las muestras se tomaron 990  $\mu\text{L}$  de la solución ajustada de 0.7 A y se colocaron 10  $\mu\text{L}$  de la muestra; ésta se leyó en el espectrofotómetro a 734 nm, se tomaron lecturas al minuto 0 y al minuto 5.

#### Cálculo del porcentaje de inhibición

$$\% \text{ de inhibición} = \left[ \frac{\text{Abs muestra } t_0 - \text{Abs muestra } t_5}{\text{Abs muestra } t_0 - \left( \frac{\text{Abs disolvente } t_0 - \text{Abs disolvente } t_5}{\text{Abs disolvente } t_0} \right)} \right] \times 100$$

Ecuación 3. Cálculo del porcentaje de inhibición del catión  $\text{ABTS}^+$

Donde:

---

Abs = absorbancia

t<sub>0</sub> = tiempo inicial

t<sub>5</sub> = tiempo de 5 minutos

Se realizó una curva estándar con diferentes concentraciones de trolox (Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, 238813) de 0 a 25 μM, y los resultados fueron expresados como μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra.

#### 6.4.5 Determinación de actividad antioxidante mediante DPPH

Se utilizaron los extractos de compuestos fenólicos totales, obtenidos a partir de la metodología descrita por (Abdel-Aal & Hucl, 1999).

El ensayo de DPPH se realizó siguiendo la metodología de Brand-Williams & col. (1995) con algunas modificaciones. Se preparó una solución madre del radical DPPH (Sigma Aldrich St. Louis MO, USA, D9132) disolviendo 2.5 mg del radical con 40 mL de metanol, posteriormente se aforó la solución a 50 mL con metanol y se protegió de la luz (solución madre). Se tomó una alícuota y se midió su absorbancia a 520 nm, se ajustó la absorbancia de la solución a 0.5 ± 0.02 A, esta absorbancia fue ajustada con metanol o solución madre. Una vez ajustada la absorbancia de la solución se colocaron 200 μL de las muestras extraídas en tubos previamente protegidos y 2000 μL de la solución de DPPH, se midió la absorbancia de cada muestra a los 60 minutos de reacción. Se calculó el porcentaje de actividad antirradical con la siguiente ecuación y se realizó una curva de calibración de trolox de 0 a 25 μM, y los resultados fueron expresados como μmol equivalentes de trolox (ET)/100g de muestra.

$$\% \text{ Actividad antirradical} = 1 - \frac{(\text{Abs de la muestra})}{\text{Abs control}} \times 100$$

#### 6.5 Análisis estadístico

Los datos reportados en todas las tablas son promedios de observaciones por triplicado. El análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple se realizaron utilizando MINITAB ver. 18.0 para MAC. Los datos obtenidos para todos los análisis anteriores se reportaron como media ± desviación estándar. Se aplicó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple Tukey, se definió en p < 0.05.

---

## 7.- Resultados y discusión

### 7.1 Perfil físico

#### 7.1.1 Densidad

En la Tabla 2 se muestran los valores de densidad obtenidos para los panes control trigo, control cebado, control de cebada germinada y las diferentes formulaciones de cebada germinada y cebada sin germinar (F1-F6). Se observó que las formulaciones con inclusión de harina de cebada germinada presentaron valores más altos de densidad de  $0.4945 \frac{g}{cm^3}$  a  $0.4373 \frac{g}{cm^3}$  a partir de 80 % de inclusión hasta 60%, presentando diferencia significativa con los panes control ( $p < 0.05$ ).

Las muestras de pan con inclusión de 60 y 40 % de cebada sin germinar presentaron los valores más bajos de densidad  $0.26319 \frac{g}{cm^3}$  y  $0.24753 \frac{g}{cm^3}$  respectivamente sin presentar diferencia significativa con el control de trigo ( $p > 0.05$ ).

El incremento de los valores de densidad con la sustitución de harina germinada puede ser debido a la pérdida de los  $\beta$  –glucanos presentes en los granos de cebada durante el remojo, ya que su alta afinidad por el agua reduce el grado de generación de vapor y la disponibilidad de agua, lo que resulta en un pan más denso (Ramírez, Robles, López, Escobedo, & Orozco, 2020).

Otro factor importante para tomarse en cuenta, puede ser la degradación de almidón por actividad enzimática, ya que se ha reportado un aumento de la viscosidad cuando existe la adición de germinados en pan. Las viscosidades bajas o intermedias podrían favorecer la expansión de la masa durante el horneado (Cornejo & Rosell, 2015).

#### 7.1.2 Volumen

En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos para los panes controles (trigo, cebada germinada, cebada sin germinar) y las diferentes formulaciones de cebada germinada y cebada sin germinar. Se observó que las formulaciones con incorporación de 40 y 20 % de harina de cebada sin germinar no mostraron diferencia significativa con el control de trigo ( $p > 0.05$ ), teniendo valores de  $135 \text{ cm}^3$  a  $145 \text{ cm}^3$ .

Las muestras con incorporación de harina de cebada germinada (20, 40, 60, 80%) mostraron los volúmenes más bajos teniendo valores de  $71.67 \text{ cm}^3$  a  $86.67 \text{ cm}^3$ , presentando una diferencia significativa con el control de harina de cebada germinada ( $p < 0.05$ ) con un valor de  $95 \text{ cm}^3$ .

Esto concuerda con lo reportado por Cardone et al. (2020) sobre la elaboración de pan con harina de trigo germinada por diferentes periodos de tiempo, en donde el volumen más bajo que observaron fue en pan con harina de trigo germinada por 62 h.

El bajo volumen de las formulaciones germinadas puede deberse al incremento de la concentración de fibra, y a la disminución de la concentración de las proteínas que indica menor contenido de gluten y como consecuencia se debilita la estructura porosa (Robles-Ramírez, 2020).

**Tabla 2.** Parámetros de densidad y volumen para las diferentes formulaciones de pan con cebada germinada y sin germinar

<i>Formulación</i>	<i>Densidad (<math>\frac{g}{cm^3}</math>)</i>	<i>Volumen (<math>cm^3</math>)</i>
<i>Trigo</i>	0.24 ± 0.006 <sup>G</sup>	145 ± 5.00 <sup>A</sup>
<i>Cebada germinada</i>	0.37 ± 0.022 <sup>CD</sup>	95 ± 5.00 <sup>CD</sup>
<i>F5 ger</i>	0.49 ± 0.021 <sup>A</sup>	71.67 ± 2.89 <sup>E</sup>
<i>F6 ger</i>	0.46 ± 0.046 <sup>AB</sup>	76.67 ± 7.64 <sup>E</sup>
<i>F7 ger</i>	0.43 ± 0.029 <sup>AB</sup>	81.67 ± 5.77 <sup>DE</sup>
<i>F8 ger</i>	0.40 ± 0.012 <sup>BC</sup>	86.67 ± 2.89 <sup>DE</sup>
<i>Cebada</i>	0.33 ± 0.013 <sup>DE</sup>	105 ± 5.00 <sup>BC</sup>
<i>F1</i>	0.42 ± 0.017 <sup>BC</sup>	81.67 ± 2.67 <sup>DE</sup>
<i>F2</i>	0.30 ± 0.013 <sup>EF</sup>	115 ± 5.00 <sup>B</sup>
<i>F3</i>	0.26 ± 0.009 <sup>FG</sup>	135 ± 5.00 <sup>A</sup>
<i>F4</i>	0.24 ± 0.013 <sup>FG</sup>	141.67 ± 7.64 <sup>A</sup>

Los datos son la media de triplicados ± desviación estándar. Comparación de medias con prueba de Tukey, letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo al ANOVA ( $p < 0.95$ ) en cada una de las muestras. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa ( $p < 0.95$ )

## 7.2 Perfil de textura

En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos del análisis de textura para todas las formulaciones

**Tabla 3.** Parámetros del perfil de textura para las diferentes formulaciones de pan con cebada germinada y sin germinar

Formulación	Dureza (N)	% Resistencia	Cohesión	% Elasticidad	Gomosidad	Masticabilidad
Trigo	27.36 ± 2.33 <sup>BCD</sup>	19.27 ± 0.54 <sup>C</sup>	0.52 ± 0.005 <sup>BC</sup>	80.72 ± 0.99 <sup>AB</sup>	14.39 ± 1.22 <sup>A</sup>	11.61 ± 0.89 <sup>A</sup>
Cebada	38.44 ± 2.15 <sup>A</sup>	15.33 ± 0.55 <sup>D</sup>	0.39 ± 0.008 <sup>E</sup>	71.90 ± 6.22 <sup>BC</sup>	15.12 ± 0.66 <sup>A</sup>	10.90 ± 1.41 <sup>A</sup>
F1	33.36 ± 2.7 <sup>AB</sup>	18.64 ± 1.25 <sup>C</sup>	0.48 ± 0.02 <sup>CD</sup>	70.83 ± 3.07 <sup>C</sup>	16.04 ± 1.02 <sup>A</sup>	11.36 ± 0.87 <sup>A</sup>
F2	31.34 ± 1.17 <sup>ABC</sup>	17.61 ± 1.16 <sup>CD</sup>	0.47 ± 0.02 <sup>D</sup>	72.72 ± 3.60 <sup>BC</sup>	14.82 ± 1.08 <sup>A</sup>	10.78 ± 0.93 <sup>A</sup>
F3	25.92 ± 4.43 <sup>BCD</sup>	22.63 ± 0.78 <sup>B</sup>	0.55 ± 0.01 <sup>B</sup>	80.24 ± 2.23 <sup>AB</sup>	14.44 ± 2.38 <sup>A</sup>	11.61 ± 2.13 <sup>A</sup>
F4	20.02 ± 5.01 <sup>D</sup>	27.16 ± 2.68 <sup>A</sup>	0.62 ± 0.03 <sup>A</sup>	85.29 ± 0.98 <sup>A</sup>	12.32 ± 2.43 <sup>AB</sup>	10.50 ± 1.97 <sup>A</sup>
Cebada ger	20.87 ± 0.47 <sup>D</sup>	6.91 ± 0.25 <sup>FG</sup>	0.25 ± 0.008 <sup>G</sup>	33.66 ± 1.11 <sup>FG</sup>	5.38 ± 0.14 <sup>D</sup>	1.81 ± 0.09 <sup>C</sup>
F5 ger	23.83 ± 1.99 <sup>CD</sup>	6.25 ± 0.22 <sup>G</sup>	0.23 ± 0.006 <sup>G</sup>	31.46 ± 1.12 <sup>G</sup>	5.56 ± 0.54 <sup>D</sup>	1.75 ± 0.23 <sup>BC</sup>
F6 ger	19.13 ± 1.54 <sup>D</sup>	8.30 ± 0.47 <sup>FG</sup>	0.31 ± 0.01 <sup>F</sup>	40.89 ± 2.38 <sup>F</sup>	6.03 ± 0.41 <sup>CD</sup>	2.47 ± 0.32 <sup>BC</sup>
F7 ger	24.38 ± 3.04 <sup>CD</sup>	9.59 ± 0.07 <sup>EF</sup>	0.34 ± 0.011 <sup>EF</sup>	50.54 ± 4.82 <sup>E</sup>	8.51 ± 1.34 <sup>BCD</sup>	4.34 ± 1.10 <sup>BC</sup>
F8 ger	25.03 ± 3.91 <sup>BCD</sup>	11.38 ± 0.51 <sup>E</sup>	0.39 ± 0.019 <sup>E</sup>	59.95 ± 3.20 <sup>D</sup>	9.38 ± 2.03 <sup>BC</sup>	5.93 ± 1.54 <sup>B</sup>

Los datos son la media de triplicados ± desviación estándar. Comparación de medias con prueba de Tukey, letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo al ANOVA ( $p < 0.95$ ) en cada una de las muestras. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa ( $p < 0.95$ )

### 7.2.1 Dureza

Se observó que los valores más bajos de dureza fueron de 19.13N a 20.87N en las formulaciones con adición de 80 y 60 % de harina de cebada germinada, las cuales no mostraron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con el control de cebada germinada y el control de trigo.

Los valores más altos se presentaron en las formulaciones con adición de harina de cebada sin germinar, obteniendo valores de 38.44N a 33.36N sin mostrar diferencia significativa entre ellas ( $p > 0.05$ ) y entre el control de cebada sin germinar.

Cornejo et al., (2015) reportaron en su estudio sobre la influencia del tiempo de germinación en arroz integral donde encontraron que la dureza de la miga se ve afectada a medida que aumentaba el tiempo de germinación, esto puede deberse a la degradación del almidón y a la deformación de las paredes celulares que condujeron a migas más delgadas. Sullivan et al. (2011) reportaron en su estudio sobre la adición de harinas de cebada para agregar valor nutricional a pan blanco, donde los niveles de dureza se ven afectados al aumentar la inclusión de cebada, esto puede estar relacionado con las diversas características viscoelásticas de  $\beta$ -

---

glucanos presente en estos panes, lo que podría tener como resultado un aumento en la tensión mecánica necesaria para romper la estructura del pan.

La cebada germinada tiende a tener un menor contenido de gluten en comparación con la harina de trigo. El gluten es la proteína responsable de proporcionar estructura y elasticidad al pan. Si se utiliza una cantidad significativa de cebada germinada en la receta, es probable que haya menos gluten disponible para formar una red fuerte, lo que resulta en un pan menos duro. Sullivan et al. (2011) mostraron que el aumento de la concentración de harina de cebada (30, 50, 70 y 100%) disminuyó la capacidad de absorción de agua y el grado de ablandamiento.

### **7.2.2 Resistencia**

Se observó que la inclusión de cebada germinada permitió disminuir el porcentaje de resistencia. Las formulaciones con 80 y 60% de cebada germinada presentaron los valores más bajos de 6.25 y 8.3% respectivamente, estas muestras no presentaron diferencia significativa con el control de cebada germinada ( $p > 0.05$ ).

Las muestras de cebada sin germinar presentaron los valores más altos cuando se disminuye el porcentaje de cebada. Las formulaciones con inclusión de 40 y 20% de cebada sin germinar fueron las muestras con mayor resistencia mostrando valores de 22.63 a 27.16% respectivamente, estadísticamente diferente a las demás muestras ( $p < 0.05$ ).

### **7.2.3 Cohesión**

Los valores de cohesión se ven afectados por la inclusión de cebada germinada, se observaron valores de 0.23 a 0.39 en las formulaciones con sustitución de harina de cebada germinada, siendo la formulación de 80% de adición de cebada germinada la muestra con el valor más bajo, estadísticamente similar al control de cebada germinada ( $p < 0.05$ ). Mientras que los valores más altos fueron observados en la formulación de cebada sin germinar con inclusión de 20% de harina de cebada sin germinar. La tendencia fue similar a las formulaciones de harina de cebada germinada, ya que a mayor inclusión de trigo mayor cohesión. Se sabe que la harina de trigo tiende a absorber menos agua que una harina integral, lo cual ayuda a que el pan sea más estable y las uniones sean más fuertes.

Blandino et al. (2015) reportaron que, al incrementar la sustitución de cebada perlada en pan, los valores de cohesión disminuían considerablemente, esto concuerda con el estudio realizado ya que los valores de cohesión bajaron al incrementar la concentración de cebada.

---

#### **7.2.4 Elasticidad**

Se observó que las formulaciones con incorporación de harina de cebada germinada fueron las menos elásticas mostrando valores de 31.46 a 59.95%, siendo las formulaciones con sustitución de 80% (F5ger) y 100% cebada germinada las que presentaron los valores más bajos.

Cornejo et al., (2015) reportaron que a medida que aumentó el tiempo de germinación (más de 40 horas), el valor de la elasticidad disminuye, lo que indica un aumento en la fragilidad y la tendencia a desmoronarse cuando se corta el pan.

En las formulaciones con sustitución de harina de cebada sin germinar, las muestras con sustitución de 40 y 20% presentaron los valores más altos estadísticamente igual que el pan de trigo. La elasticidad disminuye en las muestras F1, F2. Lo que indica que cuando se disminuye el porcentaje de cebada la elasticidad es menor.

Es recomendable tener valores altos de elasticidad ya que este parámetro está relacionado con la frescura y la elasticidad del pan.

#### **7.2.5 Gomosidad**

Se observó que las formulaciones adicionadas con harina de cebada germinada tienen a disminuir sus valores al incrementar la concentración de harina de cebada germinada, ya que muestran valores de 5.56 a 6.03 en las formulaciones con sustitución de 80 y 60% respectivamente sin mostrar diferencia significativa entre ellas y entre el control de cebada germinada, siendo esta la muestra que presenta el valor más bajo de gomosidad.

Los valores más altos de gomosidad los presentan las formulaciones adicionadas con harina de cebada sin germinar, mostrando valores de 12.32, 14.44, 14.82 y 16.04 en las formulaciones con sustitución de 20, 40, 60 y 80% de harina de cebada sin germinar respectivamente, sin mostrar diferencia significativa entre ellas y entre los controles de trigo y cebada sin germinar.

#### **7.2.6 Masticabilidad**

La masticabilidad en las muestras con cebada sin germinar no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre ellas ni con el control de trigo. Al utilizar harina de cebada germinada se observó que aumenta la masticabilidad cuando disminuye el porcentaje de sustitución. La muestra F8 presentó el valor más alto de masticabilidad estadísticamente diferente a la muestra con 100% de harina germinada. La masticabilidad mostraron una tendencia similar con la dureza de las muestras, pues al incorporar mayor concentración de cebada estos parámetros van en aumento, esto debido a la energía requerida para masticar los alimentos en un estado comestible y

cuanto más más elástica es la textura del pan, es más fácil de masticar (Xiaoxuan , Xiao , Yize , Xiao , & Cheng , 2021).

## 7.3 Perfil químico

### 7.3.1 Análisis Proximal

En la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos para los panes control (trigo, cebada germinada y cebada sin germinar) y las diferentes formulaciones de pan con adición de harina de cebada germinada y sin germinar.

**Tabla 4.** Análisis proximal de las diferentes formulaciones de pan en base húmeda

Formulación	% Fibra	% Proteína	% Humedad	% Grasa	% Cenizas	Carbohidratos totales*
Trigo	0.16 ± 0.02 <sup>H</sup>	4.72 ± 0.24 <sup>E</sup>	22.76 ± 0.67 <sup>AB</sup>	12.37 ± 0.42 <sup>AB</sup>	2.58 ± 0.01 <sup>EF</sup>	57.45 ± 0.86 <sup>C</sup>
Cebada germinada	3.24 ± 0.16 <sup>A</sup>	0.86 ± 0.06 <sup>H</sup>	23.59 ± 0.85 <sup>A</sup>	9.01 ± 0.64 <sup>D</sup>	2.54 ± 0.02 <sup>F</sup>	60.74 ± 1.58 <sup>A</sup>
F5 ger	3.12 ± 0.101 <sup>A</sup>	3.44 ± 0.13 <sup>G</sup>	21.14 ± 0.67 <sup>CD</sup>	12.64 ± 0.55 <sup>AB</sup>	2.62 ± 0.02 <sup>CD</sup>	57.01 ± 1.24 <sup>C</sup>
F6 ger	1.80 ± 0.01 <sup>CD</sup>	3.90 ± 0.27 <sup>FG</sup>	21.68 ± 0.43 <sup>BCD</sup>	12.75 ± 0.22 <sup>AB</sup>	2.61 ± 0.01 <sup>CDE</sup>	57.34 ± 0.51 <sup>C</sup>
F7 ger	1.40 ± 0.02 <sup>EF</sup>	4.28 ± 0.22 <sup>EF</sup>	22.12 ± 0.46 <sup>ABC</sup>	13.32 ± 0.07 <sup>A</sup>	2.59 ± 0.01 <sup>DEF</sup>	56.26 ± 0.62 <sup>C</sup>
F8 ger	0.47 ± 0.02 <sup>GH</sup>	4.75 ± 0.31 <sup>E</sup>	22.30 ± 0.41 <sup>ABC</sup>	12.20 ± 0.08 <sup>B</sup>	2.58 ± 0.01 <sup>DEF</sup>	57.66 ± 0.36 <sup>BC</sup>
Cebada	2.40 ± 0.13 <sup>B</sup>	7.91 ± 0.26 <sup>C</sup>	20.34 ± 0.34 <sup>DE</sup>	9.39 ± 0.74 <sup>CD</sup>	2.65 ± 0.01 <sup>BC</sup>	57.29 ± 1.05 <sup>C</sup>
F1	1.89 ± 0.20 <sup>C</sup>	5.58 ± 0.24 <sup>D</sup>	23.15 ± 0.15 <sup>AB</sup>	11.81 ± 0.85 <sup>AB</sup>	2.56 ± 0.05 <sup>EF</sup>	54.99 ± 0.79 <sup>C</sup>
F2	1.56 ± 0.11 <sup>DE</sup>	7.61 ± 0.23 <sup>C</sup>	21.92 ± 0.78 <sup>BC</sup>	11.20 ± 0.88 <sup>BC</sup>	2.60 ± 0.02 <sup>CDE</sup>	55.10 ± 1.29 <sup>C</sup>
F3	1.14 ± 0.05 <sup>F</sup>	9.36 ± 0.13 <sup>B</sup>	19.46 ± 0.19 <sup>E</sup>	11.06 ± 0.90 <sup>BC</sup>	2.68 ± 0.06 <sup>B</sup>	56.65 ± 1.09 <sup>C</sup>
F4	0.64 ± 0.04 <sup>G</sup>	10.34 ± 0.23 <sup>A</sup>	16.91 ± 0.22 <sup>F</sup>	8.90 ± 0.23 <sup>D</sup>	2.76 ± 0.07 <sup>A</sup>	60.41 ± 0.28 <sup>AB</sup>

Los datos son la media de triplicados ± desviación estándar. Comparación de medias con prueba de Tukey, letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo al ANOVA ( $p < 0.95$ ) en cada una de las muestras. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa ( $p < 0.95$ )

\*Determinación indirecta: CHOS totales = 100 – (Fibra + Proteína + Humedad + Grasa + Cenizas)

#### 7.3.1.1 Fibra

Se observó la tendencia en las muestras con incorporación de harina de cebada germinada que el porcentaje de fibra va disminuyendo al bajar la concentración de harina de cebada. La muestra con F8 ger con incorporación de un 20% de harina de cebada germinada mostró uno de los valores más bajos de fibra al igual que el control de trigo, mostrando valores de 0.47 y 0.16% respectivamente, sin mostrar diferencia significativa entre ellos ( $p > 0.05$ ). La muestra F5 ger con incorporación de 80% de harina de cebada germinada mostró valores altos de fibra, teniendo valores de 3.12%



---

sin mostrar diferencia significativa con la muestra control de harina de cebada germinada ( $p>0.05$ ) pero sí estadísticamente más alto que la muestra control de trigo ( $p<0.05$ ).

En las muestras con inclusión de harina de cebada sin germinar. La muestra F4 con incorporación de 20% de harina de cebada sin germinar mostró un valor de 0.64% de fibra sin mostrar diferencia significativa con la muestra F8 ger y el control de trigo ( $p>0.05$ ). Las muestras con incorporación de harina de cebada sin germinar mostraron la misma tendencia ya que al disminuir la incorporación de cebada el porcentaje de fibra disminuyó. Todas las muestras con inclusión de cebada mostraron un porcentaje más alto de fibra en comparación con la muestra control de trigo.

Sharma et al. (2014) reportaron en galletas con sustitución de harina de trigo por harina de cebada un aumento considerable de fibra, lo cual afectó el volumen y densidad de las galletas, esto concuerda con los resultados obtenidos en la Tabla 4.

Gill et al. (2002) reportaron que la adición de fibra en pan provoca la dilución de las proteínas del gluten dando como resultado el debilitamiento de la estructura porosa o grano de la miga y el rompimiento de la cadena de gluten durante la mezcla. Esto daña la retención de gas por masa, cambia la estructura y apariencia del producto horneado como se observó el efecto en el volumen de las diferentes formulaciones.

### **7.3.1.2 Proteína**

Al incrementar la proporción de cebada el porcentaje de proteína fue disminuyendo. El control de cebada germinada presentó el valor más bajo de 0.86%, mostrando diferencia significativa con las muestras adicionadas con harina de cebada germinada y el control de trigo ( $p<0.05$ ). Las muestras F5 ger y F6 ger mostraron valores de 3.90 y 3.44% respectivamente sin mostrar diferencia significativa entre ellas ( $p>0.05$ ).

Las muestras adicionadas con harina de cebada sin germinar mostraron que el contenido de proteína aumentó al reducir el contenido de cebada sin germinar. Se observó que la muestra F4 mostró el valor más alto de proteína, teniendo un 10.34% de proteína, mostrando diferencia significativa con todas las muestras ( $p<0.05$ ).

Sullivan et al. (2010) reportaron un comportamiento similar en un pan a base de harina de cebada perlada. Un aumento del nivel de harina de cebada disminuyó el contenido de proteína. Montemurroa et al. (2018) también reportaron una tendencia similar en un estudio sobre la fermentación de masa madre de harinas germinadas pues el porcentaje de proteína en muestras de cebada era menor en comparación a la masa de trigo, esto concuerda con los datos reportados en este estudio, esto puede deberse a que las proteínas en germinados se encuentran en forma de aminoácidos.

---

### **7.3.1.3 Humedad**

La tendencia mostrada en las muestras con incorporación de harina de cebada germinada fue que al tener concentraciones bajas de cebada el porcentaje de humedad fue en aumento. Tal es el caso de las muestras F7 ger y F8 ger con incorporación de 40 y 20% respectivamente, mostraron resultados de 22.12 y 22.30% respectivamente sin mostrar diferencia significativa entre ellas y entre el control de cebada germinada ( $p>0.05$ ).

Las muestras con adición de harina de cebada sin germinar mostraron menor contenido de humedad con menor concentración de harina de cebada. Las muestras F3 y F4 con incorporación de 40 y 20% de harina de cebada sin germinar, mostraron resultados de 19.46 y 16.91% de humedad mostrando diferencia significativa entre ellas ( $p<0.05$ ).

Las muestras control de cebada germinada y trigo no mostraron diferencia significativa entre ellas ( $p>0.05$ ).

### **7.3.1.4 Grasa**

En las formulaciones con harina de cebada germinada, se observó que las muestras F5 ger, F6 ger y F7 ger con incorporación de 80, 60 y 40% de harina de cebada presentaron valores de 12.64, 12.75 y 13.32% respectivamente sin mostrar diferencia significativa entre ellas ( $p<0.05$ ) y entre el control de trigo.

La tendencia mostrada en las muestras con incorporación de harina de cebada sin germinar fue que a menor concentración de cebada menor porcentaje de grasa. La muestra F4 con incorporación de un 20% de harina de cebada sin germinar mostró uno de los porcentajes de grasa más bajos teniendo 8.9%, sin mostrar diferencia significativa entre el control de cebada germinada y el control de cebada sin germinar ( $p<0.05$ ). Esto puede ser debido a que la cebada, en comparación con el trigo, generalmente tiene un contenido de grasa menor. Al incluir mayor porcentaje de cebada en la formulación del pan, se diluye el contenido total de grasa.

### **7.3.1.5 Cenizas**

Al incrementar la concentración de harina de cebada germinada, el porcentaje de cenizas aumento, sin embargo las muestras F6 ger, F7 ger y F8 ger con incorporación de 60, 40 y 20% de harina de cebada germinada no mostraron diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre ellas.

La tendencia que mostraron los datos con adición de harina de cebada sin germinar fue diferente ya que al tener mayor concentración de cebada los niveles de cenizas bajaron. La muestra F4 con incorporación de un 20% de harina de cebada sin germinar mostró el valor más alto de cenizas con un 2.76%. Todas las muestras con incorporación de harina de cebada sin germinar mostraron diferencia significativa entre ellas ( $p < 0.05$ ).

La disminución del porcentaje de cenizas en las muestras con incorporación de harina de cebada germinada puede deberse a la pérdida de minerales durante el lavado de las semillas (Cornejo & Rosell, 2015).

### 7.3.2 Fenoles y actividad antioxidante

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante obtenidos para los panes control (trigo, cebada y cebada germinada) y las diferentes formulaciones de cebada germinada y cebada sin germinar.

Formulación	Fenoles (mg EAG/ 100g muestra)	Flavonoides (mg EQ/100g de muestra)	ABTS ( $\mu$ Mol ET/g muestra)	DPPH ( $\mu$ Mol Trolox/g muestra)
Trigo	144.47 $\pm$ 8.26 <sup>DE</sup>	0.98 $\pm$ 0.08 <sup>H</sup>	182.83 $\pm$ 16.73 <sup>DE</sup>	409.39 $\pm$ 3.97 <sup>A</sup>
Cebada ger	374.44 $\pm$ 15.22 <sup>A</sup>	12.38 $\pm$ 0.46 <sup>A</sup>	533.90 $\pm$ 47.90 <sup>A</sup>	237.86 $\pm$ 0.86 <sup>D</sup>
F5 ger	285.83 $\pm$ 8.83 <sup>B</sup>	12.13 $\pm$ 0.43 <sup>A</sup>	320.50 $\pm$ 31.30 <sup>B</sup>	332.33 $\pm$ 2.87 <sup>B</sup>
F6 ger	292.40 $\pm$ 43.01 <sup>B</sup>	7.24 $\pm$ 0.21 <sup>B</sup>	316.30 $\pm$ 23.80 <sup>B</sup>	334.53 $\pm$ 6.80 <sup>B</sup>
F7 ger	260.80 $\pm$ 32.89 <sup>BC</sup>	5.32 $\pm$ 0.10 <sup>C</sup>	273.73 $\pm$ 11.58 <sup>BC</sup>	331.13 $\pm$ 2.84 <sup>B</sup>
F8 ger	259.13 $\pm$ 8.20 <sup>BC</sup>	4.38 $\pm$ 0.21 <sup>D</sup>	193.81 $\pm$ 8.75 <sup>CDE</sup>	282.67 $\pm$ 6.68 <sup>C</sup>
Cebada	233.46 $\pm$ 9.88 <sup>C</sup>	5.61 $\pm$ 0.51 <sup>C</sup>	295.50 $\pm$ 29.40 <sup>B</sup>	213.31 $\pm$ 3.01 <sup>E</sup>
F1	230.41 $\pm$ 13.10 <sup>C</sup>	3.71 $\pm$ 0.25 <sup>E</sup>	219.33 $\pm$ 16.33 <sup>CD</sup>	277.04 $\pm$ 4.59 <sup>C</sup>
F2	179.84 $\pm$ 7.93 <sup>D</sup>	3.08 $\pm$ 0.23 <sup>EF</sup>	179.89 $\pm$ 3.63 <sup>DE</sup>	203.95 $\pm$ 7.29 <sup>E</sup>
F3	164.65 $\pm$ 2.71 <sup>DE</sup>	2.58 $\pm$ 0.17 <sup>FG</sup>	146.52 $\pm$ 17.62 <sup>EF</sup>	177.94 $\pm$ 4.07 <sup>F</sup>
F4	127.69 $\pm$ 7.11 <sup>E</sup>	1.85 $\pm$ 0.16 <sup>G</sup>	93.04 $\pm$ 12.76 <sup>F</sup>	105.75 $\pm$ 1.57 <sup>G</sup>

**Tabla 5.** Fenoles totales, Flavonoides y actividad antioxidante de los panes

Los datos son la media de triplicados  $\pm$  desviación estándar. Comparación de medias con prueba de Tukey, letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo al ANOVA ( $p < 0.95$ ) en cada una de las muestras. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa ( $p < 0.95$ ). Base seca

---

### 7.3.2.1 Fenoles

Los panes con incorporación de harina de cebada germinada mostraron valores más altos en fenoles totales en comparación de las formulaciones con incorporación de harina de cebada sin germinar.

Los panes con sustitución de harina de cebada germinada mostraron resultados entre 259 a 292 mg equivalentes de ácido gálico (EAG) / 100 g de muestra. La muestra control de harina de cebada germinada mostró el valor más alto teniendo 374 mg EAG /100 g de muestra, presentando diferencia significativa entre las muestras de harina de cebada germinada ( $p < 0.05$ ). Estos resultados pueden deberse a la biosíntesis de metabolitos secundarios con actividad antioxidante para mantener un equilibrio redox durante la germinación y a la hidrólisis de los fenólicos unidos debido a la degradación de la pared celular de los polisacáridos (He, Han, Yao, Shen, & Pingfang, 2011).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cornejo et al. (2015) sobre la germinación de arroz integral e incorporación en un pan, mostraron que el arroz germinado por 48 horas obtuvo un contenido fenólico mayor en comparación con la muestra control de arroz integral al 100%.

Las formulaciones con sustitución de harina de cebada sin germinar mostraron disminución en la concentración de compuestos fenólicos comparada con las formulaciones con inclusión de cebada germinada. La muestra F1 con adición de un 80% de harina de cebada sin germinar no mostró diferencia significativa con la muestra control de harina de cebada sin germinar ( $p > 0.05$ ), mostrando valores de 230 y 233 mg EAG /100 g de muestra respectivamente.

Una disminución del contenido fenólico total en las muestras puede ser debido a la alteración de la estructura química de los compuestos fenólicos por una posible polimerización que conduce a una reducción de la estabilidad y oxidación. (Altan, McCarthy, & Maskan, 2009).

Las muestras F2 y F3 con adición de 40 y 60% de harina de cebada sin germinar no mostraron diferencia significativa entre ellas y entre la muestra control de trigo ( $p > 0.05$ ), presentando valores de 164, 127 y 144 mg EAG /100 g de muestra respectivamente.

La inclusión de harina germinada ha demostrado aumentar el contenido de fenoles totales en el pan. A medida que se sustituye una mayor proporción de la harina de trigo por harina germinada, se observan concentraciones más elevadas de fenoles. Es relevante señalar que durante el proceso de germinación se produce la síntesis

---

de estos metabolitos secundarios, lo que conlleva a un incremento en su concentración al utilizar harinas germinadas en comparación con las harinas no germinadas. Aunque las harinas sin germinar también aumentan el contenido de fenoles totales, este aumento es significativamente menor en comparación con el obtenido al usar harina germinada.

### 7.3.2.2 Flavonoides

La tendencia en el contenido de flavonoides fue similar a la de fenoles totales. Se observó que las formulaciones con incorporación de harina de cebada germinada muestran diferencia significativa entre ellas ( $p < 0.05$ ).

La muestra F5 ger con incorporación de un 80 % de harina de cebada germinada no mostró diferencia significativa con la muestra control 100 cebada germinada ( $p > 0.05$ ), presentando valores de 12.13 y 12.38 mg equivalentes de quercetina (EQ)/ 100 g de muestra bs respectivamente.

La muestra F7 ger con incorporación de un 40% de harina de cebada germinada presentó un valor de 5.32 mg EQ/ 100 g de muestra sin mostrar diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con la muestra control de cebada sin germinar teniendo un valor de 5.61 mg EQ/ 100 g de muestra.

Al brotar las semillas existen diversos cambios metabólicos, entre ellos el aumento de la actividad antioxidante, esto debido al aumento de la actividad enzimática como mecanismo de defensa para protegerse de depredadores como bacterias, hongos e insectos ( Alvarez-Jubete , Wijngaard , Arend, & Gallagher , 2010).

Por otra parte, la tendencia mostrada en las muestras con incorporación de harina de cebada sin germinar fue similar. Al bajar la concentración de cebada sin germinar la cantidad de flavonoides disminuyó.

Se observó que las muestras F1 y F2 con incorporación de un 80 y 60% de harina de cebada sin germinar no mostraron diferencia significativa entre ellas ( $p > 0.05$ ), presentando valores de 3.71 y 3.08 mg EQ/ 100 g de muestra respectivamente.

Los valores de las muestras F3 y F4 con incorporación de un 40 y 20 % de harina de cebada sin germinar fueron de 2.58 y 1.85 mg EQ/ 100 g de muestra respectivamente, sin mostrar diferencia significativa entre ellas ( $p > 0.05$ ) pero sí con la muestra control de trigo ( $p < 0.05$ ).

Li, Walker y Faubion (2011) han informado una disminución similar en el contenido de antocianinas durante el horneado de galletas preparadas a partir de la incorporación de harina de maíz, esto debido a que las antocianinas un tipo de flavonoides son un grupo de compuestos fenólicos que se consideran más sensibles al calor y se destruyen durante el procesamiento térmico.

---

### 7.3.2.3 ABTS

La tendencia mostrada en los valores de las muestras con incorporación de harina de cebada germinada fue el incremento de la concentración de harina cebada germinada con el aumento del contenido de actividad antioxidante.

Se observó que las muestras F5, F6 y F7 no mostraron diferencia significativa entre ellas ( $p > 0.05$ ), presentando valores de 320.5, 316.3 y 273.73  $\mu\text{Mol}$  equivalente de trolox ( $\mu\text{Mol ET}$ )/ g de muestra respectivamente.

La muestra control de harina de cebada germinada presentó valores de 533.9  $\mu\text{Mol ET/g}$  de muestra, mostrando diferencia significativa entre las muestras con incorporación de harina de cebada germinada ( $p < 0.05$ ).

Marecek et al. (2017) reportaron la capacidad antioxidante utilizando ensayos de ABTS y DPPH en cebada y malta, donde observaron que los niveles de actividad antioxidante en malta fueron más altos en comparación con la cebada, esto puede deberse al cambio bioquímico de los compuestos antioxidantes durante el malteado, en especial durante la germinación y el horneado.

En las formulaciones con harina de cebada sin germinar. Se observó la mayor actividad antioxidante en la muestra con 100% de cebada, y esta fue disminuyendo conforme disminuyó el porcentaje de sustitución de la harina de cebada. F3 y F4 presentaron la actividad más baja.

Un aumento de contenido de actividad antioxidantes, puede atribuirse a un efecto secundario del proceso de horneado, debido a la formación de productos de alto peso molecular de la reacción de Maillard que se forman a temperaturas más altas y actúan como antioxidantes (Gumul & Korus, 2006) (Holtekjølen, Bvre, Rødbotten, Berg, & Knutsen, 2008).

### 7.3.2.4 DPPH

La actividad antioxidante medida por DPPH, tuvo una tendencia similar que, con fenoles totales, flavonoides y ABTS, en ambos casos, al incluir harina de cebada germinada y sin germinar, la actividad antioxidante incrementa conforme aumenta el porcentaje de inclusión de cebada.

Las muestras con cebada germinada F5 ger, F6 ger y F7 ger presentaron la misma actividad de 331-334  $\mu\text{Mol trolox/g}$  muestra. La muestra F8 fue la de menor actividad estadísticamente diferente a las muestras con inclusión de harina germinada ( $p < 0.05$ ) En las muestras con cebada sin germinar la tendencia fue a incrementar con la inclusión de cebada presentado diferencia significativa en todas las muestras ( $p < 0.05$ )

---

En la mayoría de las muestras la actividad antioxidante de ABTS y DPPH fue similar. Sin embargo, en este caso la muestra control de trigo presentó la mayor actividad de 409.39  $\mu\text{Mol}$  trolox/g muestra estadísticamente diferente a todas las muestras ( $p < 0.05$ ), probablemente los compuestos presentes en el trigo tienen mayor afinidad con el radical DPPH que con ABTS.

Paras y Hardeep (2014) reportaron que el horneado incrementa la actividad antioxidante esto debido a la formación de pigmentos de color marrón durante el proceso de cocción debido a la reacción de Maillard y se ha informado que estos pigmentos tienen actividad antioxidante.

---

## 8. Conclusión

Las formulaciones que mostraron los mejores resultados son las muestras con incorporación de un 40 y 20 % de harina de cebada germinada. Estas muestras presentaron parámetros físicos como volumen, dureza, cohesión, elasticidad, gomosidad y masticabilidad similares a la muestra control de trigo. El presente estudio indicó que las mantecadas con adición de harina de cebada germinada mostraron un contenido mayor de fibra, compuestos fenólicos, flavonoides y mayor actividad antioxidante en comparación a la muestra control de trigo y las formulaciones con cebada sin germinar.

La incorporación de harina de cebada germinada en un producto de panificación puede mejorar las características físico químicas del mismo, teniendo un producto enriquecido.

Los resultados de la investigación sugieren que la incorporación de harina de germinados de cebada es una buena alternativa para el desarrollo de un producto de panificación con actividad antioxidante para el consumo humano.



---

## 9. Bibliografía

- AACC. (2000). Guidelines for Measurement of Volumen by Rapeseed Displacement. *American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of Analysis*.
- Abdel-Aal, E.-S., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem*, 350-354.
- Altan, A., McCarthy, K., & Maskan, M. (2009). Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and b-glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 1263 - 1271.
- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arend, E., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 770-778.
- Association of Official Analytical Chemists – AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. *15th ed.*
- Becraft, P., & Gutierrez Marcos, J. (2012). Endosperm development: dynamic processes and cellular innovations underlying sibling altruism. *WIREs Developmental Biology*.
- Blandino, M., Locatelli, M., Gazzola, A., Coïsson, J., Giacosa, S., Travaglia, F., . . . Arlorio, M. (2015). Hull-less barley pearling fractions: Nutritional properties and their effect on the functional and technological quality in bread-making. *Journal of Cereal Science*, 48-56.
- Byung-Kee, B., & Ullrich, S. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 233-242.
- Callejo González, M. d. (2002). *Industrias de cereales y derivados*. España: A. Madrid Vicente.
- CANAIMPA. (2017). Panificación en México.
- Cardone, G., Grassi, S., Scipioni, A., & Marti, A. (s.f.). Bread-making performance of durum wheat as affected by sprouting. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2020.
- Castañe, F. (2012). La cerveza: Historia, fabricación y propiedades. *Alimentación, equipos y tecnología*.
- Castillo L., C. (2002). Germinación y malteado de cebada. *ReCiTeIA*, 2(1).
- Conoce México. (2017). La deliciosa historia de la panadería mexicana. *México Desconocido*.
- Cornejo, F., & Rosell, C. M. (2015). Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality. *J Food Sci Technol*.
- Courtis, A. C. (2013). *Germinación de semillas, cátedra y fisiología vegetal*. Guía de estudio.
- Daneri-Castro, S., Svensson, B., & Roberts, T. (2016). Barley germination: Spatio-temporal considerations for designing and interpreting 'omics' experiments. *Journal of Cereal Science*.
- Decker, E., Beecher, G., Slavin, J., Miller, H., & Marquart, L. (2002). Whole grain as a source of antioxidants. *Cereal Foods World*, 370-373.
- Diaz, J. (2018). Festin del sabor. *Revista Buen Viaje*.
- Engell, K. (1989). Embryology of barley: Time course and analysis of controlled fertilization and early embryo formation

- 
- Food & Agriculture Org. (1985). *Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano: directrices técnicas*.
- García Castro, A., Román Gutiérrez, A., Catañeda Ovando, A., & Guzmán Ortiz, F. (2023). *Total phenols and flavonoids in germinated barley using different solvents*.
- Garrido, C. (2017). *Influencia Francesa en la Culinaria Mexicana*. Redacción *Culinaria Mexicana*.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooarikul, B., & Rossnagel, B. (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science*, 36, 219-237.
- Goupy, P., Hugues, M., Boivin, P., & Amiot, M. (1999). Antioxidant composition and activity of barley (*Hordeum vulgare*) and malt extracts and of isolated phenolic compounds. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 79, 1625-1634.
- Gumul, D., & Korus, J. (2006). Polyphenol content and antioxidant activity of rye bran extrudates produced at varying parameters of extrusion process. *Electronic journal of polish agricultural universities*.
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., & Gallagher, E. (2010). Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 318-328.
- He, D., Han, C., Yao, J., Shen, S., & Pingfang, Y. (2011). Constructing the metabolic and regulatory pathways in germinating rice seeds through proteomic approach. *Proteomics Journal*, 2693 - 2713.
- Holtekjølen, A., Bvre, A. B., Rødbotten, M., Berg, H., & Knutsen, S. (2008). Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour. *Food Chemistry*, 414-421.
- INEGI. (Mayo de 2021). *INEGI. Obtenido de Características de las defunciones registradas en México durante enero a agosto de 2020: Características de las defunciones registradas en México durante enero a agosto de 2020*
- Jacobs, D., & Steffen, L. (2002). Nutrients, foods, and dietary patterns as exposures. *A framework for food synergy*, 508-513.
- Kusaba, M., Kobayashi, O., Yamaguchi, I., Tkahashi, N., & Takeda, C. (1991). Effects of gibberellin on genetic variations in  $\alpha$ -amylase production in germinating barley seeds. *Journal of Cereal science*, 151-160.
- Lallana, V., & Lallana, M. (2001). Germinación y latencia. En *manual de prácticas de fisiología vegetal*.
- Latham, M. C. (2002). Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. En *Nutrición Humana en el mundo en desarrollo*. Roma : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Li, J., Walker, C., & Faubion, J. (2010). Acidulant and oven type affect total anthocyanin content of blue corn cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- López, P. (2005). Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* jess) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. *Tesis de licenciatura de Química en Alimentos*.
- Madhujith, T., Izydorczyk, M., & Shahidi, F. (2006). Antioxidant activity of pearled barley fraction. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*.

- 
- Menga, V., Fares, C., Troccoli, A., Cattivelli, L., & Baiano, A. (2010). Effects of genotype, location and baking on the phenolic content and some antioxidant properties of cereal species. *Int J Food Sci Tech*, 7-16.
- Montemurroa, M., Pontonioa, E., Gobbettib, M., & Giuseppe Rizzelloa, C. (2018). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flours. *International Journal of Food Microbiology*.
- Palmer, G. (1989). Cereals in malting and brewing. *Cereals Science and Technology*, 61-242.
- Paras, S., & Hardeep, S. G. (2014). Cookie making behavior of wheatebarley flour blends and effects on antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*(55), 301-307.
- Ramírez, M. d., Robles, E. O., López, R. M., Escobedo, R. M., & Orozco, M. B. (2020). Barley bread with improved sensory and antioxidant properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*.
- Ranki, H. (1990). Secretion of  $\alpha$ -amylase by the epithelium of barley scutellum. *Journal of Onstitute of Brewing*, 307-309.
- Ren-You, G., Chak-Lun, C., Qiong-Qiong, Y., Hua-Bin, L., Zhang, D., Ying-Ying, G., . . . Corke, H. (2019). Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. En H. Feng, B. Nemzer, & J. W. DeVries, *Sprouted Grains* (págs. 191-246). AACC International Press.
- Robles-Ramírez, M. O.-R.-L.-E.-O. (2020). Barley bread with improved sensory and antioxidant properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*.
- S. Gill, T. V. (2002). Wheat Bread Quality as Influenced by the Substitution of Waxy and Regular Barley Flours in Their Native and Extruded Forms. *Journal of Cereal Science*, 219-237.
- Sanchez, I. S. (2008). Evaluación nutrimental del sedimento de cerveza elaborada con cebada maltera. *Tesis de Nutrición*.
- Shahidi, F., & Naczki, M. (1995). Food Phenolics Sources, Chemistry, Effects, Applications. *Tochnomic Publishing Co.*, 106.
- Shamah Levy, T., Rivera Dommarco, J., Hernández Ávila, M., & Cuevas Nasu, L. (2016). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*. Cuernavaca, México: Medio Camino.
- Shamah Levy, T., Vielma Orozco, E., Heredia Hernández, O., Romero Martínez, M., Mojica Cuevas, J., Mojica Cuevas, J., Rivera Dommarco, J. (2020). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: Resultados Nacionales*. Cuernavaca, México : Instituto Nacional de Salud Pública .
- Sharma, P., & Singh Gujral, H. (2014). Cookie making behavior of wheatebarley flour blends and effects on antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, 301-307.
- Siebenhandl-Ehn, S., Kinner, M., Leopold, L., Poppernitsch, M., Prückler, M., Wurbs, P., Grausgruber, H. (2011). Hulled Barley – A Rediscovered Source for Functional Foods Phytochemical Profile and Soluble Dietary Fibre Content in Naked Barley Varieties and Their Antioxidant Properties. *Phytochemicals - Bioactivities and Impact on Health*.
- Sullivan, P., O'Flaherty, J., Brunton, N., Arendt, E., & Gallagher, E. (5 de June de 2010). Fundamental rheological and textural properties of doughs. *Eur Food Res Technol*, 231, 441–453.

---

Testerink, C. (2001). Activation of a MAPK-like protein kinase and 29 activation of an MBP kinase in germinating barley embryos. In *14-3-3 proteins in germinating barley*.

Xiaoxuan, W., Xiao, L., Yize, B., Xiao, G., & Cheng, L. (2021). Effect of whole quinoa flour substitution on the texture and in vitro starch digestibility of wheat bread. *Food Hydrocolloids*.