

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS
Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos

**Producción de cerveza tipo ale utilizando malta de trigo cristalino
(*Triticum durum* L.) con el desorden fisiológico panza blanca**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS**

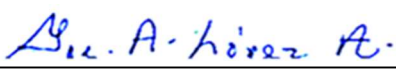
Presenta:

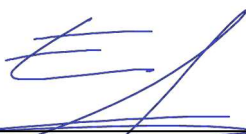
Carlos Armando García Puebla

APROBACIÓN

Producción de cerveza tipo ale utilizando malta de trigo cristalino (*Triticum durum* L.) con el desorden fisiológico panza blanca


I.Q. Carlos Armando García Puebla


Dra. Guadalupe Amanda López Ahumada
Director de la tesis


Dr. Erick Heredia Olea
Miembro del comité de tesis


Dr. Francisco Rodríguez Félix
Miembro del comité de tesis


Mtro. Juan Pedro López Córdova
Miembro del comité de tesis

Hermosillo, Sonora a 01 de septiembre 2022

Asunto: Cesión de derechos

UNIVERSIDAD DE SONORA

P R E S E N T E.

Por este conducto hago constar que soy autor y titular de la obra denominada Producción de cerveza tipo ale utilizando malta de trigo cristalino (*Triticum durum L.*) con el desorden fisiológico panza blanca, en lo sucesivo LA OBRA, realizada como trabajo terminal con el propósito de obtener el Grado de maestro en Ciencias y Tecnología de Los Alimentos, en virtud de lo cual autorizo a la Universidad de Sonora (UNISON) para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución, distribución pública, distribución electrónica y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios de la institución y se integren a los repositorios de la universidad, estatales, regionales, nacionales e internacionales.

La UNISON se compromete a respetar en todo momento mi autoría y a otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente.

De la misma manera, manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general cualquier parte de LA OBRA son de mi entera responsabilidad, por lo que deslindo a la UNISON por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual y/o cualquier responsabilidad relacionada con la OBRA que cometa el suscrito frente a terceros.

ATENTAMENTE



Carlos Armando García Puebla



LIC. GILBERTO LEÓN LEÓN
Abogado General
UNIVERSIDAD DE SONORA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por siempre estar, por apoyarme en todo y en todo momento, por su motivación a lograr mis metas, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación a la Dra. Guadalupe Amanda López Ahumada, por creer en mí y haberme brindado la oportunidad de desarrollar este proyecto ofreciéndome sus conocimientos, guía y brindarme todo lo necesario y hasta más lo largo de este proceso, nunca le dejaré de agradecer.

A mi comité tutorial, por haber sido una guía y permitirme nutrirme de su conocimiento en todas las áreas relacionadas con el proyecto, al maestro Juan Pedro, al Dr. Francisco Rodríguez y en especial al Dr. Erick Heredia que me brindó la posibilidad de realizar una estancia en su institución y poder llevar a cabo la parte experimental de mi proyecto en tiempo y forma, a pesar, de las dificultades por vivir en un tiempo de pandemia.

A mis amigos, Cindy, Uriel, Freddy y Fernanda por siempre estar, apoyarme y haber hecho de esta etapa un trayecto de vivencias que nunca olvidaré, gracias por todo y sobre todo su amistad.

Al DIPA en general, en especial a todos los maestros y compañeros con los que conviví, por permitirme desarrollarme y aprender de todos, al Centro de Biotecnología FEMSA en Monterrey por permitirme el uso de sus instalaciones a pesar de las adversidades, a Bere especialmente por todas las atenciones y facilidades brindadas.

A mis hermanos, a mi Anarika, por ser parte importante de mi vida y ser un apoyo incondicional y a todas las personas que formaron parte de este proceso, les agradezco y les recuerdo con cariño.

DEDICATORIA

**Este trabajo está dedicado a mis padres y hermanos ya
que sin su gran apoyo y perseverancia no
sería la persona que soy, hoy día.**

RESUMEN

La cebada es el cereal más utilizado en el proceso de elaboración de cerveza. Sin embargo, el acceso al grano de cebada nacional es difícil para los pequeños y medianos cerveceros, por lo que deben importar cebada ya malteada de otros países. Esta investigación propone una alternativa al uso de la cebada en la elaboración de cerveza, específicamente el trigo cristalino (*Triticum durum* L.) con “panza blanca”. El Estado de Sonora aporta el 51.7% de la producción nacional de trigo, donde el trigo candeal representa el 83% de la producción y el 17% restante es trigo harinero (*T. aestivum* L.). El principal uso del trigo cristalino es la producción de pasta para consumo humano y satisface el 100% de las necesidades del país, su contenido proteico es superior al de la cebada y esto afecta el proceso, la fermentación y la estabilidad del sabor en la producción de cerveza. Sin embargo, existe un desorden fisiológico en el trigo denominado “panza blanca” que le otorga otras características a este grano, principalmente un menor contenido proteico. Este desorden representa un problema para los agricultores porque afecta la calidad y el valor económico del grano, ya que la industria de la pasta requiere que tenga un alto contenido de proteína. En este contexto, la importancia del cultivo del trigo cristalino en la región, y el efecto de la panza blanca, este estudio evaluará el efecto que tiene en el proceso de elaboración de cerveza artesanal con este grano y darle otro uso a este trigo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
CONTENIDO.....	v
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	2
Trigo	2
Trigo cristalino	5
Panza blanca	6
Proteína del trigo	7
Enzimas en la cerveza.....	7
α y β -amilasas	8
Almidón.....	8
Cerveza	9
Composición de la cerveza.....	11
Proceso de elaboración de cerveza.....	12
Tipos de cerveza	14
Consumo de cerveza	15
Cerveza artesanal.....	15
Cerveza de trigo	16
Malta de trigo	17
Adjuntos cerveceros	17
HIPÓTESIS	19

OBJETIVO GENERAL.....	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
Caracterización física del grano.....	21
Capacidad germinativa	21
Determinación de la composición química del grano.....	21
Producción de maltas	22
Características químicas de las maltas	23
Elaboración de mosto	26
Producción de Cerveza	27
Análisis de mostos	28
Análisis de cervezas	29
Análisis estadístico	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
Caracterización física del grano.....	30
Caracterización química del grano	31
Curva de absorción de humedad.....	36
ANÁLISIS DE LA MALTA	38
Capacidad germinativa	38
Pérdida de materia seca	38
Almidón total	40
Azúcares reductores.....	41
Actividad Enzimática.....	44
Viscosidad	48

Análisis del mosto	52
FAN	52
pH	52
Color	53
°Plato	53
Análisis de Fermentación.....	55
FAN	55
pH	55
Color	58
Azúcares fermentables y producción de etanol	58
Análisis Sensorial	62
CONCLUSIÓN	64
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curva de absorción de humedad durante el remojo de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).....	37
2	Porcentajes de pérdida de materia seca durante 120 horas de germinación de las muestras de malta de trigo con panza blanca (TPB) y malta de trigo sin panza blanca (TSPB).	39
3	Porcentajes de almidón total durante el tiempo de germinación de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).....	42
4	Desarrollo de azúcares reductores durante el tiempo de germinación de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).	43
5	Actividades enzimáticas de □-amilasa (A), □-amilasa(B) y amiloglucosidasa (C) de las muestras de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin (TSPB) durante el tiempo de germinación.	47

6	Viscosidades del trigo sin panza blanca durante diferentes etapas del malteado de los granos; TSPB 0= grano sin germinar, TSPB 1= grano remojado y TSPB= grano después de 5 días de germinación.....	50
7	Viscosidades del trigo con panza blanca durante diferentes etapas del malteado de los granos; TPB 0= grano sin germinar, TPB 1= grano remojado, TPB= grano después de 5 días de germinación y Mezcla= 70% grano de trigo con panza blanca y 30% cebada después de 5 días de germinación.	51
8	Evolución del alfa amino nitrógeno libre (FAN) en los mostos de trigo con panza blanca y trigo sin panza blanca (TSPB), durante 7 días de fermentación.....	56
9	Comportamiento del pH de los mostos de trigo con panza blanca y trigo sin panza blanca (TSPB), durante 7 días de fermentación.....	57
10	Consumos de glucosa (A), maltosa (B) y maltotriosa (C) durante 7 días de fermentación de los mostos elaborados con trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).....	60
11	Cinéticas de consumo de azúcares totales y desarrollo de etanol durante 7 días de fermentación de los mostos elaborados con trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).....	61
12	Perfiles de aroma, sabor y apariencia de las cervezas elaboradas con trigo con panza blanca (TPB), trigo sin panza blanca (TSPB).....	63

LISTA DE TABLAS

TABLA		Página
1	Composición química de diferentes cereales (USDA-ARS,2017).	4
2	Propiedades físicas de los granos de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).....	34
3	Caracterización química de los granos de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).....	35
4	Efecto de las maltas de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB) sobre los rendimientos y la composición de los mostos ajustados a 11.8° plato.....	54

INTRODUCCIÓN

La bebida alcohólica que más se consume en el mundo es la cerveza, representando el 78.2% y en México, representa el 93.3% del consumo total de bebidas alcohólicas (Gómez-Corona, et al., 2016). La cebada es el cereal más utilizado en el proceso de elaboración de cerveza. Sin embargo, el utilizar cereales distintos de la cebada se está convirtiendo en una práctica común en el mundo (Fox, 2017). Los cuatro cereales más utilizados después de la cebada son trigo, sorgo, arroz y maíz. El trigo tiene una larga tradición como material para la producción de malta y cerveza (Faltermaier et al., 2014). Además, en México representa el segundo lugar de los cereales más consumidos en la alimentación (SAGARPA, 2017). El estado de Sonora aporta el 51.7% de la producción nacional de trigo. Dentro del estado, el trigo cristalino (*Triticum durum* L.) representa el 83% de la producción y el 17% restante es harinero (*T. aestivum* L.) (SAGARPA, 2017).

El trigo cristalino es utilizado principalmente para la producción de pastas para consumo humano y satisface el 100% de la necesidad del país (Garza y Taddei, 2016). El excedente producido se exporta o se utiliza como parte en las dietas de animales. Su contenido de proteína es mayor que en la cebada (Fox, 2017). Esto representa un problema en el proceso, fermentación y estabilidad del sabor cuando este tipo de granos son utilizados en la producción de cerveza. Sin embargo, existe en el trigo duro un desorden fisiológico denominado “*panza blanca*” el cual le confiere a este trigo características distintas respecto al contenido de proteína.

La panza blanca se manifiesta en su endosperma, parcial o totalmente como una condición almidonosa (Márquez *et al.*, 2015). De acuerdo a Solís y Díaz de León (2001) este desorden es mayormente asociado a la dosis de nitrógeno aplicada en la siembra y el riego. El trigo afectado con panza blanca representa un problema para los agricultores porque afecta la calidad y el valor económico del grano, ya que para la producción de harinas y pastas se necesita un alto contenido de proteína.

En estudios anteriores ya se ha trabajado en la elaboración de maltas y cerveza con trigo cristalino como es el caso de Mascia *et al.* en el 2014 donde compararon una

cerveza elaborada con trigo cristalino con otras cervezas y se observó que la cerveza de trigo cristalino tuvo los valores más altos de extracción y mayor contenido de polifenoles, sin embargo, las otras cervezas tuvieron resultados más altos en el grado real de fermentación. En otro estudio realizado por Bianco *et al.* en 2019, se determinó que el grano de la variedad del trigo cristalino utilizada en el estudio tenía cualidades químicas y microbiológicas adecuadas para su uso como adjunto en la elaboración de cerveza, sin embargo, también se determinó que la cantidad de nitrógeno soluble una vez malteado era demasiado alto y por lo tanto no apto para la elaboración de cerveza. En el estudio realizado por Padilla-Torres *et al.*, 2022, se elaboró una cerveza artesanal con trigo panadero (*T.aestivum* L.) con el desorden fisiológico panza blanca, en este estudio se comprobó que la presencia de panza blanca disminuye el contenido de proteína, obteniendo un valor similar al de la cebada. Además, el grano con panza blanca presentó mayor rendimiento de etanol que la contraparte producida a partir de trigo sin panza blanca.

En este contexto, teniendo en cuenta la importancia del cultivo del trigo cristalino (*T. durum* L.) en la región y los problemas que causa el alto contenido de proteína del grano de trigo cristalino en el proceso, así como los resultados obtenidos en investigaciones en cerveza relacionadas con el tema, este estudio pretende evaluar el efecto que tenga el desorden fisiológico “panza blanca” en el proceso de elaboración de cerveza artesanal con el grano de trigo cristalino (*T. durum* L.).

REVISIÓN DE LITERATURA

Trigo

El trigo es uno de los cereales con mayor producción a nivel mundial. La característica clave que le ha dado ventaja sobre otros cereales son las propiedades únicas para formar masa a partir de harinas de trigo. Esto le permite procesarse en una gran variedad de panes, pastas y otros alimentos procesados como cerveza (Shewry, 2009).

En 1753, en las "Species Plantarum", Carl Linneus propuso el primer sistema de clasificación de plantas, incluido el trigo, basado en diferencias morfológicas y

fisiológicas (Sissons, 2012). El análisis citogenético y citológico mostró que los trigos se dividen en tres grupos naturales básicos, cada uno caracterizado por tener en cada célula somática 14 cromosomas (siete pares) o un múltiplo de 14 cromosomas. Los grupos son: trigos diploides (por ejemplo, *T. monococcum* que tiene 14 cromosomas); tetraploides como *T. turgidum subsp.* o trigo duro, que tiene 28 cromosomas; y hexaploides como el trigo harinero (*T. aestivum*), que tiene 42 cromosomas (Sissons, 2012). Trigo es proveniente del latín *Triticum* que significa quebrado o triturado haciendo referencia al proceso de separar la semilla de su cáscara (Juárez, *et al.*, 2014). La forma de los granos de trigo es ovalada con extremos redondeados, de uno de sus lados sobresale el germen y del otro, un mechón de finos pelos. Éste se forma por endospermo, salvado y germen (Serna-Saldívar, 2009). El salvado se constituye por pericarpio, epicarpio y endocarpio; contiene vitaminas, minerales y proteínas. El endospermo constituye el 82% del peso del grano y es el depósito de alimento para el embrión. Se compone de almidón, proteínas y en menor cantidad por celulosas. Entre la parte del salvado y del endospermo se localiza la capa de aleurona, la cual, es de gran importancia para el desarrollo del embrión durante la germinación. El germen de trigo contiene vitaminas B y E, así como grasas, proteínas y minerales (Juárez *et al.*, 2014).

Los carbohidratos representan aproximadamente 65-85% de la materia seca total y son los componentes más importantes del grano de trigo (Šramková, *et al.*, 2009). De esa materia total cerca del 64% es almidón y el resto carbohidratos insolubles como celulosa y hemicelulosa además de carbohidratos solubles como β -glucanos y pentosanos. Las proteínas, constituyen del 8 al 16%: tanto las del gluten como su contraparte, englobando a la mayoría de las enzimas (Šramková *et al.*, 2009). De ácidos grasos saturados de 11 al 26% y de no saturados de 72 a 85% del total de lípidos (Gómez-Pallarés *et al.*, 2007). En la Tabla 1 se observa una comparación de la composición química de los principales cereales.

Tabla 1. *Composición química de diferentes cereales (USDA-ARS,2017).*

Grano	Carbohidratos (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra dietética total (%)	Energía (Kcal/100 g)
Trigo fuerte	75.9	11.31	1.71	12.2	342
Trigo suave	75.36	10.69	1.99	12.7	340
Trigo cristalino	71.13	13.68	2.47	-	339
Maíz	74.26	9.42	4.74	7.3	365
Arroz	76.17	7.5	2.68	3.4	362
Cebada	77.72	9.91	1.16	15.6	352
Sorgo	72.09	10.62	3.46	6.7	329
Avena	66.27	16.89	6.9	10.6	389
Mijo	72.85	11.02	4.22	8.5	378
Centeno	75.86	10.34	1.63	15.1	338
Triticale	72.13	13.05	2.09	-	336

(-) La información no está disponible en la base de datos.

En México se cultiva trigo en más de 20 estados de la república. Sin embargo, 63.1% de la producción se genera en la zona norte principalmente en Sonora y Baja California. El resto de la producción se concentra en regiones del centro y el altiplano por temporadas (INIFAP, 2019). En México el trigo se clasifica de acuerdo con su funcionalidad con respecto al gluten en 5 grupos: fuerte, medio-fuerte, suave, tenaz y cristalino (Serna, 2009). Los primeros cuatro son harineros y el último cristalino apto para la industria de pastas y sopas por su gluten corto y tenaz (Peña Bautista, *et al.*, 2008) .

Trigo cristalino

El trigo cristalino que se produce en Sonora tiene tres destinos principales: el mercado pecuario, la industria de pastas y galletas en México y el mercado de exportación, principalmente a países del norte de Sudamérica, África y a Italia. En contraste con los trigos suaves, la producción nacional del trigo cristalino logra satisfacer la demanda nacional, de tal manera que no hay importaciones para el mercado pecuario ni el mercado industrial (Lagler y Taddei, 2016).

Al moler el grano se produce la sémola, la cual contiene las proteínas gliadinas y gluteninas que en su conjunto forman el gluten. Este tiene una gran utilidad en la producción de macarrones, pastas cortas y panes facilitando su proceso (SAGARPA, 2017). Los factores ambientales y el manejo agronómico juegan un papel importante en la determinación de las características de calidad del trigo. Por ejemplo, la temperatura y la precipitación durante el llenado del grano y la disponibilidad de nitrógeno son factores clave en la acumulación de proteínas en las semillas. La fertilización nitrogenada puede tener un fuerte impacto en el rendimiento y la calidad de la sémola, según la dosis, la fuente, el momento de la aplicación y la división de la dosis (Baker y Buttery, 1998). Tal es el caso de la aparición del desorden fisiológico llamado panza blanca, el cual es considerado que afecta la calidad del grano por su reducción en el contenido de proteína (Bnejdi y El Gazzah, 2008) (Ramírez-Wong, *et al.*, 2014).

Panza blanca

En México, las siembras de variedades comerciales de trigo, tienen una gran adaptabilidad, potencial de rendimiento, además son muy resistentes a enfermedades y a condiciones de baja humedad. Sin embargo, en ocasiones, el grano cosechado no cumple con los requerimientos de calidad de la industria, debido a la presencia de un alto porcentaje del desorden fisiológico llamado “panza blanca”, el cual, aunque no afecta el rendimiento, sí la calidad industrial del grano (López-Ahumada et al., 2010). La panza blanca es un desorden fisiológico que disminuye el contenido protéico en los granos de trigo, desorden que se manifiesta en su endosperma, parcial o totalmente como una condición almidonosa. Científicos como Bacci *et al.*, (2002) definen a la panza blanca como una alteración de granos, en trigo duro, que afecta la calidad de la harina y, consecuentemente, la calidad de productos como la pasta. Ésta característica aparece por varios factores, entre ellos, el riego, la fecha de siembra, las condiciones climatológicas, pero principalmente se le atribuye a la deficiencia de nitrógeno en el suelo, lo cual, pro consecuencia, afecta el contenido protéico del grano (Solís y Díaz de León, 2001).

El código de castigo, cuando no se cumplen los estándares de calidad, la industria penaliza a los agricultores, con sanciones como la disminución de pago por tonelada (Lagler y Taddei, 2016). Uno de los principales estándares de calidad es el porcentaje de panza blanca, el cual es penalizado de acuerdo con los estándares de cada comprador.

Se ha informado que los granos con panza blanca contienen un contenido mayor de humedad, más porcentaje de almidón y un menor nivel de contenido de proteína de grano en comparación con los granos vítreos (Ammiraju *et al.*, 2002).

Waines *et al.*, (1978) realizaron comparaciones de las albúminas y las gliadinas de los granos afectados con el desorden contra granos normales y observaron que las diferencias de proteínas son cuantitativas y no cualitativas. En otro estudio se demostró que, aunque en panza blanca se disminuyó el contenido de proteína en un 4% que en la de los granos normales, fue la fracción de gliadinas la que se redujo significativamente en lugar de la fracción de albúmina y globulina (Raath *et al.*, 1995).

Proteína del trigo

Las gluteninas y gliadinas forman el gluten que aportan propiedades de viscoelasticidad y cohesividad de la masa panadera en conjunto con los lípidos y el agua (Biesiekierski, 2017). El gluten es rico en cisteína que ayuda a formar puentes disulfuro inter e intramoleculares durante el amasado. Las interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas permiten la orientación longitudinal de los polímeros originando una red elástica y cohesiva para la esponjosidad producida por el CO₂, producto de la fermentación (Badui, 2013).

Las principales enzimas hidrolíticas por su funcionalidad son la α - y β -amilasas ya que actúan sobre los hidratos de carbono. Aunque el trigo también contiene enzimas proteolíticas (endo y exopeptidasas), lipasas, esterasas, fosfatasas, fitasas y lipooxigenasas (Barth, 2013).

Enzimas en la cerveza

Durante el proceso de malteado se activan enzimas nativas del grano a utilizar (amilasas, glucanasas, proteasas y hemicelulasas). Como resultado, el grano malteado se vuelve más apto para la molienda y la extracción de carbohidratos.

Durante el proceso de malteado, se activan las enzimas y participan en la degradación de los diversos sustratos poliméricos, como almidón, glucanos, proteínas y muchos más componentes de bajo peso molecular (Schmedding *et al*, 2002).

En el proceso de maceración se inicia con la degradación de proteínas por medio de la activación de proteasas y peptidasas, las cuales producen aminoácidos y péptidos libres (FAN), los cuales son requeridos durante la fermentación como fuente de nitrógeno para la levadura, también participan en las reacciones de Maillard y son en gran parte responsables de la formación de espuma en la cerveza final.

Las glucanasas y hemicelulasas son las encargadas de la degradación de las paredes celulares, esta degradación debe llevarse correctamente para evitar problemas con la viscosidad del mosto ya que puede tener un impacto negativo en la filtración y la estabilidad coloidal de la cerveza final, el polisacárido más importante a degradar es el β -glucano, ya que tiene la tendencia de formar complejos insolubles.

Para la degradación del almidón que aportará los azúcares fermentables necesarios para llevar a cabo la fermentación por medio de las levaduras, se activan las amilasas, específicamente la α y β -amilasa que forman parte fundamental del proceso de elaboración de cerveza.

α y β -amilasas

Estas enzimas son dos de los principales contribuyentes al "poder diastático" (es decir, las actividades combinadas de α -amilasa, β -amilasa, enzima desramificadora y α -glucosidasa de la malta) (Ziegler, 1999). Su actividad es esencial para la generación de maltosa y otros azúcares fácilmente fermentables del almidón de cereales en el proceso de maceración para alimentar la producción de alcohol por levadura.

Las α -amilasas son enzimas que pueden encontrarse en microorganismos, plantas y organismos superiores. Aumentan la velocidad de hidrólisis de enlaces internos α -1,4-glicosídicos en almidón para obtener unidades de glucosa, maltosa y maltotriosa (de Souza & e Magalhães, 2010). La especificidad, la termoestabilidad y la respuesta al pH de las enzimas son propiedades críticas para uso industrial (de Souza & e Magalhães, 2010).

Las β -amilasas liberan maltosa desde los extremos no reductores de los poliglucanos unidos por enlaces α -1,4 hasta el primer punto de ramificación α -1,6 a lo largo del sustrato que se encuentra la molécula. Las β -amilasas de cereales son más estables al ácido y menos estables al calor que las alfa-amilasas, y a diferencia de estas son susceptibles de inactivación por los reactivos oxidantes del grupo sulfhidrilo (Ziegler, 1999).

Almidón

El almidón es el carbohidrato más importante en los cereales, debido a que es su principal reserva de energía (Vamadevan & Bertoft, 2015). Los cereales, incluyendo el trigo, son considerados fuente de energía en la dieta por su alto contenido de almidón, además, es totalmente digerible en el sistema digestivo (Vamadevan & Bertoft, 2015). El almidón está constituido por dos tipos de polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina con aproximadamente un 25 y 75%, respectivamente (Li, Gidley, & Dhital, 2019). La amilosa es un polímero lineal que consta de hasta 6000 unidades de glucosa

con enlaces glucosídicos α -1,4. La amilopectina consiste en cadenas lineales de 10 a 60 unidades de glucosa unidos por enlaces α -1,4 y ramificaciones en α -1,6 de 15 a 45 unidades de glucosa.(Öztürk & Mutlu, 2019).

El almidón se usa para producir diversos productos de hidrólisis, tales como maltosa, maltodextrinas y ciclodextrinas, mediante métodos de conversión de ácido y/o enzima (Ratnayake y Jackson, 2008). Estos productos pueden ser utilizados para la producción de diversas aplicaciones alimentarias y no alimentarias, como es el caso de la elaboración de cerveza.

Cerveza

La cerveza resulta de una fermentación alcohólica, mediante la acción de una levadura en un mosto elaborado de la malta de cebada u otras fuentes de azúcar por medio de enzimas, al cual se le adiciona lúpulo y/o sus derivados y se lleva a hervor.

Se les cataloga como cervezas ale o lager dependiendo del tipo de levadura con la que se elaboran y su acción fermentadora, en el caso de las cervezas ale se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, la cual produce un tipo de fermentación denominada ale o alta fermentación. Se caracteriza por actuar a temperaturas que van desde los 19 a los 25 °C) y posteriormente se depositan en la parte más superficial del fermentador (Plans, 2015).

En el caso de las cervezas lager se utiliza la levadura *Saccharomyces carlsbergensis*. Las cuales se adaptan bien a la fermentación lenta a bajas temperaturas (8 a 15 °C) (Serna-Saldívar, 1996) y en el proceso se mantienen al fondo del fermentador permitiendo que el lúpulo y el mosto dominen el aroma y sabor del producto.

Las materias primas fundamentales para la producción de cerveza son agua, malta, lúpulo y levadura. La calidad del producto final es el resultado de los cambios que presentan las materias primas durante su procesamiento y que dan lugar a una gran cantidad de compuestos químicos transformados o sintetizados (Bamforth, 2000). A continuación, se describirán brevemente cada una de las materias primas utilizadas.

Agua

El agua corresponde a la mayor parte de la cerveza (aproximadamente el 92%) por lo que es necesario que sea potable. La calidad del agua, principalmente la cantidad de

minerales y la dureza impactará en sus características organolépticas; se puede jugar con la cantidad, sin embargo, en el agua es indispensable que cuente con ciertos requerimientos como incolora, que tenga una cantidad de minerales adecuados al perfil de la cerveza y sobretodo que sea química y biológicamente segura (Barth, 2013).

La mayoría de los iones disueltos en el agua para la elaboración de cerveza no reaccionan con los componentes de la malta (iones inactivos), durante la maceración. Sin embargo, existen otros iones que sí reaccionan con determinados componentes de la malta (iones activos). Los inactivos pasan sin modificaciones a la cerveza, pero en grandes concentraciones pueden repercutir en modificaciones positivas o negativas en el sabor y los activos reaccionan durante la maceración con componentes de la malta y e influyen en el valor de pH durante la elaboración de cerveza. (Kunze & Ros, 2006)

Malta

La malta proporciona sacáridos, proteínas, amino nitrógeno libre (FAN) y enzimas que catalizan las reacciones en el proceso de fermentación de la cerveza (Bettenhausen *et al.*, 2018). El resultado (color y sabor) de la malta se controla al hornear a temperaturas y períodos de tiempo específicos, por ejemplo, diferenciando la malta pálida y la de chocolate.

Los cereales más comunes utilizados para maltear y elaborar cerveza son la cebada, el trigo y el centeno. El trigo y el centeno difieren principalmente de la cebada con respecto a la ausencia de la cáscara y su tamaño de grano más pequeño.

Los principales requisitos de la malta son comunes para los diferentes cereales. Tales como el uso de variedades puras adecuadas para fines de malteado y elaboración de cerveza, tamaño del grano, buena germinación y niveles de proteína por debajo del 12%. Normalmente, las cebada con un mayor contenido de proteínas se utilizan en la producción de maltas cerveceras oscuras (debido a su mejor formación de color), mientras que las cebadas que son bajas en proteínas se usan en la planta tostadora ya que tienen una sacarificación más rápida.

Lúpulo

El lúpulo es el principal componente que aporta aroma y amargor. Para la elaboración de cerveza, se utilizan los conos femeninos de las flores de esta planta que son los que tienen resinas amargas y aceites esenciales. Éstos modifican el sabor y el aroma de la cerveza y ayudan a inhibir el crecimiento de microorganismos no deseados, evitando la contaminación del producto. Actualmente se utilizan extractos líquidos o pellets, los cuales muestran mejor rendimiento y una mayor vida de anaquel (Palmer, 1999).

Levaduras

Las levaduras son hongos unicelulares, con formas redondeadas ovaladas, los cuales se reproducen por gemación, y tienen longitudes que van desde 8 a 10 μm . Son los responsables de producir la fermentación del mosto de cebada a través de su metabolismo (Bokulich y Bamforth, 2013).

Las levaduras necesitan nutrientes para obtener su energía y realizar el metabolismo. Durante el proceso de respiración, descompone la glucosa en dióxido de carbono y agua; pero en la ausencia de oxígeno convierte la glucosa en etanol y dióxido de carbono. (Bokulich & Bamforth, 2013).

Las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, son las encargadas de producir las cervezas tipo ale, se han logrado desarrollar y modificar diferentes cepas para que otorguen de ciertas características a la cerveza, teniendo una gran variedad de cepas con las que los cerveceros pueden lograr diferentes objetivos (Barth, 2013).

Composición de la cerveza

Los componentes de la cerveza se pueden dividir en componentes volátiles y no volátiles. Los componentes volátiles tienen mayor presión de vapor y son responsables del cuerpo o del aroma de la cerveza. Se concentran en el espacio superior sobre el líquido en un recipiente cerrado. La mezcla compleja de componentes volátiles, ya sea en el espacio de cabeza o en un extracto solvente de la cerveza, puede resolverse mediante cromatografía de gas-líquido, usando columnas compactas o capilares, y los componentes identificados por espectrometría de masas (GC-MS) (Esslinger, 2009).

Los componentes no volátiles incluyen sales inorgánicas, azúcares, aminoácidos, nucleótidos, polifenoles y resinas de lúpulo junto con macromoléculas tales como polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos. Tales compuestos generalmente se resuelven por cromatografía líquida de alta precisión (HPLC). Antes de los avances en cromatografía disponibles en la actualidad, los fabricantes de cerveza desarrollaron numerosos métodos de análisis para controlar su proceso y la calidad de sus productos y muchos de estos se encuentran en el Instituto de Elaboración de la cerveza y la Sociedad Americana de Químicos de elaboración de la cerveza (Briggs *et al*, 2004). El alcohol en la cerveza no solamente es etanol, sino también otros alcoholes superiores alifáticos, que se forman durante la fermentación por el metabolismo de la levadura, denominados "alcoholes de fusel".

El mosto se compone por aproximadamente 75 a 80% de carbohidratos, especiamental, las dextrinas límite (maltotetraosa, maltopentaosa), y en menor cantidad de maltotriosa, 6 a 9% de sustancias albuminoideas, 4 a 5% de glicerina (glicerol), así como de β -glucanos, minerales, taninos y compuestos amargos, ácidos orgánicos y una serie de compuestos, los cuales tienen una gran influencia sobre la calidad de la cerveza aun a pesar de su pequeña concentración (Kunze y Ros, 2006).

Proceso de elaboración de cerveza

Hay cuatro pasos básicos para el proceso de preparación estándar, una vez que las materias primas llegan a la cervecería. Los cuales son malteado, maceración, aromatización y fermentación (Palmer, 1999).

Maceración

La maceración es el tratamiento de la malta con agua caliente. Convierte la mayor parte del almidón en azúcares que la levadura puede asimilar. El mosto es el resultado de este tratamiento y se realiza en un recipiente llamado olla de maceración (Kunze y Ros, 2006).

Existen tres fases importantes en el macerado. En la primera las partículas de almidón están se gelatinizan, es decir, absorben agua y se hinchan. La segunda fase del macerado es la licuefacción. Las moléculas de almidón tienen largas cadenas de unidades de azúcar. La amilosa tiene cadenas lineales y la amilopectina tiene cadenas

ramificadas. La licuefacción rompe estas cadenas en cadenas más pequeñas llamadas dextrinas, lo que hace que el almidón sea más soluble en agua. La tercera fase de la maceración es la sacarificación. La cual consiste en la conversión final de almidón y dextrinas en azúcar. La sacarificación implica la ruptura de grupos individuales o pequeños de moléculas de azúcar de los extremos de las cadenas de almidón para producir azúcares que la levadura puede utilizar (Guido, 2019).

Para que la licuefacción y la sacarificación procedan a una velocidad razonable, se necesitan enzimas. Las enzimas desempeñan el papel de catalizadores, materiales que proporcionan una vía más rápida para una reacción, pero que no se consumen en la reacción. A una temperatura de maceración más alta, la tasa de sacarificación es mayor, pero la tasa de descomposición de las enzimas, que se denomina desnaturalización, también es mayor (Mosher & Trantham, 2017).

Existen dos enzimas importantes para la maceración. Una enzima, la α -amilasa que divide las unidades de azúcar en puntos aleatorios en el medio de una cadena. Y la β -amilasa, la cual corta selectivamente una molécula de dos unidades de azúcar del extremo de una cadena de almidón. (Mosher & Trantham, 2017) La molécula de dos unidades de azúcar es un azúcar llamada maltosa. La beta-amilasa es responsable de la sacarificación. La α -amilasa es más efectiva a una temperatura más alta, y la β -amilasa es más efectiva a una temperatura más baja (Palmer, 1999).

Aromatización

El mosto dulce se lleva a ebullición en una olla de cocción. El lúpulo se agrega a intervalos durante la ebullición para proporcionar amargor y sabor. El mosto se hierve durante aproximadamente una hora. La ebullición elimina los microorganismos no deseados en el mosto, además de coagular proteínas adicionales y transformar las moléculas de las resinas del lúpulo en compuestos solubles. La ebullición también elimina los componentes de sabor no deseados. El material proteico coagulado durante la ebullición se denomina ruptura en caliente. La ebullición elimina el oxígeno disuelto y cualquier sustancia volátil (que se evapora fácilmente) que provenga del grano o del lúpulo (Mosher & Trantham, 2017; Palmer, 1999).

Fermentación

El mosto frío se traslada a un recipiente llamado fermentador. Se le adiciona oxígeno para que la levadura produzca los compuestos necesarios para la absorción azúcares del mosto. Se agrega la cepa de levadura deseada, y se sella el fermentador con una válvula unidireccional que permite que el gas escape pero no entre aire (Barth, 2013; Bokulich & Bamforth, 2013).

En la primera etapa de la fermentación, durante las primeras horas, la levadura se adapta al ambiente del fermentador haciendo que sus membranas sean más fluidas y permitir así una fácil ingesta de azúcares del mosto. En la etapa posterior, las células de levadura se comienzan a multiplicar (Barth, 2013). Se alimentan del azúcar del mosto y producen etanol, dióxido de carbono y a su vez, energía para sus procesos vitales. El producto final es el etanol, pero además se producen cantidades más pequeñas de cientos de compuestos que contribuyen al sabor de la cerveza.

Estos compuestos varían según la temperatura y la cepa de la levadura. La reacción de fermentación libera una gran cantidad de calor. En un fermentador grande, se debe controlar la temperatura mediante un sistema de enfriamiento; de lo contrario, la temperatura se elevará demasiado y la levadura producirá sabores no deseados. En un pequeño fermentador, las paredes no están tan lejos, por lo que, el calor puede escapar sin ayuda (Palmer, 1999).

Tipos de cerveza

Hay dos tipos de levadura de cerveza que se clasificaron originalmente en función del comportamiento de floculación: fermentación superior (cervezas ale) y fermentación inferior (cerveza lager). Las cervezas tipo ale son fermentadas por las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, que se desarrollan mejor a temperaturas más altas (18–24° C). Mientras que las cervezas lager son fermentadas por levaduras *Saccharomyces carlsbergensis* y fermenta a temperaturas más bajas (8–14° C) (Jentsch, 2007). Sin embargo, existen otros tipos de cervezas que difieren en la materia prima, como la cerveza elaborada a partir de malta de sorgo o de trigo.

Muchos estilos de cerveza se han desarrollado con el tiempo, todos con su propio carácter y sabor únicos influenciados por las características organolépticas, son determinadas principalmente por la materia prima, los métodos de reposo o

maduración y particularmente, la cepa de levadura utilizada para la fermentación y las condiciones a las que ésta se lleva a cabo (Glover, 2001). Ésta diversidad de estilos ha llevado a que el consumidor se interese más por probar diferentes sabores y aromas lo que conlleva un crecimiento de la industria.

Consumo de cerveza

A nivel mundial, el consumo y el comercio de cerveza han crecido significativamente en las últimas décadas. El consumo total de cerveza ha aumentado rápidamente desde 1990 (Berning *et al.*, 2017). Los principales factores que influyen en su consumo son el precio de la cerveza y otras bebidas alcohólicas, las condiciones climáticas, la importancia de las diferentes religiones de los países y los fuertes lazos culturales o históricos con los países productores de cerveza (Colen y Swinnen, 2016). En el mundo de las bebidas alcohólicas, la cerveza tiene el primer lugar de consumo en todo el mundo y representa el 78.2% de la proporción de bebidas alcohólicas; un número más alto en ciertos países como México, donde la cerveza representa el 93.3% del consumo total de bebidas alcohólicas (Gómez-Corona *et al.*, 2016).

La cerveza artesanal se está volviendo cada vez más popular en México y durante años, han estado creciendo a tasas de dos dígitos. El consumo de cerveza artesanal aumentó un 25% durante 2013 y de cada 975 L consumidos en el país, 1 L proviene de marcas artesanales. La cerveza artesanal se elige por su variedad de sabores y aumentan la probabilidad de percibir que tiene una mayor calidad que la cerveza comercial.

Cerveza artesanal

La definición exacta de cerveza artesanal es discutible, la mayoría de las fuentes enfatizan los estilos tradicionales y la innovación, así como la escala de producción. Los grandes productores (denominados macro cervecerías) en particular tienden a ver la cerveza artesanal como un segmento de mercado. Ello independientemente del tamaño de la cervecería (Berning, *et al.*, 2017). La American Brewers Association (ABA) define una cervecería artesanal como "pequeña", "independiente" y "tradicional". Pequeña se refiere a una producción anual menor de 6 millones de barriles. Independiente se refiere a la propiedad (menos del 25% de propiedad o

control de un miembro de la industria del alcohol que no es en sí mismo un cervecero artesanal). Tradicional se refiere a la producción de cerveza, en la cual el 50% o más si la cerveza elaborada deriva su sabor de ingredientes de elaboración "tradicionales" o "innovadores" y su fermentación.

Cerveza de trigo

Menos de una décima parte del 1 por ciento del trigo cultivado en los Estados Unidos termina malteado para su uso en cerveza, esto se debe a que las proteínas y el gluten pueden presentar problemas para un cervecero ya que no solo contiene más proteínas que la cebada, sino también más proteínas de alto peso molecular. Además, el gluten compone el 80% de las proteínas (en comparación con el 35% de la cebada). Las proteínas en suspensión contribuyen a una turbidez distintiva y una espuma persistente, pero a largo plazo, pueden volverse un problema de estabilidad del sabor. El trigo en sí afecta tanto el aspecto como el sabor de las cervezas (Hieronimus, 2010). Las cervezas a base de trigo suelen ser principalmente de estilo alemán y se conocen como Weizenbier o Weizen Beer. Las regulaciones alemanas especifican una proporción de al menos 50% de malta de trigo y tener fermentación alta para elaborar una Weizenbier (Picariello *et al.*, 2015), este estilo de cerveza tiene un color pálido a dorado, con una espuma espesa blanca y duradera, su principal característica es el aroma a clavo aportado por la levadura utilizada.

El trigo por sí solo tiene poca influencia sobre los ésteres y otros subproductos de la fermentación, pero la levadura rápidamente cambia eso. En la década de 1970 que descubrieron que las levaduras weizen y otras levaduras de "sabor fenólico" (POF +) convierten el ácido ferúlico al 4-vinil guayacol, el fenol responsable de ese carácter. Estos incluyen levaduras weizen y wit en diversos grados (Hieronimus, 2010).

Otro estilo muy importante en las cervezas de trigo son las cervezas del estilo Belga o mejor conocidas como Witbier, habitualmente estas cervezas suelen ser más ácidas y refrescantes, se usa una parte de trigo sin maltear y se suele añadir otros ingredientes como cáscara de naranja o cilantro. Las witbiers belgas utilizan una levadura que es similar a la de los bávaros, sobre todo por la forma en que agrega sabor y aroma

En Estados Unidos los cerveceros artesanales han puesto su propio sello en el mundo de la cerveza de trigo. Su receta parte de la Weizen y reemplaza la levadura distintiva por las de ale de fermentación más limpia. Las American Wheat permiten disfrutar de los sabores del grano de trigo sin la adición de otros sabores que son aportados por las levaduras, ya que la levadura que se utilizan es de aroma y sabor neutral. Esto resulta en una cerveza sutil de transición para muchos bebedores que son nuevos en la amplia categoría de las cervezas de trigo.

Existen muchas cervezas que utilizan trigo en su receta, debido a que aporta principalmente en la retención de la espuma y en algunos estilos se desea la turbidez característica que éste aporta. El trigo aporta muy poco sabor a una cerveza, pero añade una sensación distintiva y sedosa en la boca.

Sin embargo, es importante recordar que para que una cerveza sea considerada de trigo debe contener entre un 30 y un 70 % de éste grano en su composición, en caso contrario se considera solamente como un adjunto en la cerveza.

Malta de trigo

Las maltas de trigo son generalmente pálidas. En Europa continental, las maltas de trigo constituyen la mayor parte hasta el 70% de cervezas especiales, incluidas la alemana Weissbier (cerveza blanca) y Weizenbier (cerveza de trigo) que son de fermentación alta. En el Reino Unido, se pueden incluir pequeñas cantidades de malta de trigo (3-10%) en los granos para mejorar la formación de espuma y la retención de la cabeza de las cervezas. Otros beneficios de utilizar maltas de trigo son la claridad mejorada de la cerveza, tiene alta actividad enzimática y le da mayor sabor a la malta. El sabor del extracto de trigo es relativamente "neutral" (Bamforth,2006).

Adjuntos cerveceros

Los adjuntos cerveceros agregados que se adicionan al mosto y son fuente de azúcares fermentables; suelen ser granos sin germinar como cebada, trigo, centeno, maíz, arroz, papa e incluso tapioca (López *et al.*, 2002). Se utilizan también diversos derivados de cereales como la sémola, harina, granos precocidos y jarabes (Briggs *et al.*, 1981). Con su adición se busca aumentar el rendimiento de alcohol de la fermentación, disminuir el costo de producción, contribuir en las características

organolépticas como color, sabor y aroma, y modificar el contenido de proteína y retención de espuma de la cerveza (Owuama, 1997; López et al., 2002). Los grits refinados son los más elegidos como adjuntos cerveceros ya que contienen más azúcares fermentables disponibles, menor cantidad de aceite y una mejor coloración. Las cervezas con estos grits suelen ser menos propensas a oxidación y mejora su sabor y color (Serna-Saldívar, 2010).

Para la mayoría de los productores de cerveza el arroz es la mejor elección debido a su baja cantidad de aceite a diferencia de los grits de maíz. Además posee un sabor y aroma neutral sin influir en la coloración de la cerveza por lo que son preferidos en la producción de cervezas claras. Sin embargo, su desventaja es su alta temperatura de gelatinización (64-78°C) y que es extremadamente viscoso antes de la licuefacción en el cocimiento de los adjuntos (Hardwick, 1995; Serna-Saldívar, 1996).

Las variedades de centeno tienen granos finos y desnudos y las maltas hechas de ellas pueden conferir sabores inusuales (como caramelo) a las cervezas, con cambios a la sensación de boca (paladar; más suave; más dulce) así como también puede dar un tinte rojo a la cerveza (Briggs *et al*, 2004).

HIPÓTESIS

El desorden fisiológico panza blanca reduce el contenido proteico del grano de trigo cristalino (*T. durum* L.), por lo tanto, podrá utilizarse para la elaboración de cerveza artesanal de calidad y presentar propiedades químicas y físicas comparables con cervezas elaboradas con otro tipo de granos mayormente utilizados.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del desorden fisiológico panza blanca sobre las características físicas, químicas y organolépticas de la cerveza elaborada con trigo cristalino (*T. durum* L.).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la características físicas, capacidad germinativa y composición química del grano de trigo cristalino con y sin el desorden fisiológico panza blanca.
- Evaluar la actividad enzimática, almidón total, azúcares reductores, viscosidad y la pérdida de materia seca de las maltas elaboradas a partir del grano de trigo cristalino con y sin panza blanca.
- Determinar azúcares simples fermentables, grados plato y los alfa amino nitrógeno (FAN) de los mostos generados con trigo durum con y sin el desorden fisiológico panza blanca.
- Realizar las cervezas con trigo durum con y sin el desorden fisiológico panza blanca y comparar el rendimiento de fermentación y las características organolépticas de los productos finales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos en la Universidad de Sonora y en las instalaciones del Centro de Biotecnología FEMSA del Tecnológico de Monterrey sede Monterrey, Nuevo León.

Para esta investigación se utilizó trigo cristalino de la variedad CIRNO con y sin panza blanca provisto por la empresa MUNSA Molinos S. A. de C.V. Para la muestra de control se utilizó una malta de trigo comercial para la elaboración de cerveza.

Caracterización física del grano

Peso de mil granos

El peso de 1,000 granos se midió en una balanza analítica (0.0001 g) Ohaus, modelo No. AR 2140 Ohaus PinBrook (NJ, EE. UU.). El peso de mil granos se calculó a partir del peso de cien granos. La determinación se realizó por triplicado.

Dimensiones del grano

El largo y el ancho del grano se midieron en 30 granos de cada muestra por triplicado, con un vernier digital precisión ± 0.001 " Pittsburgh.

Capacidad germinativa

Para determinar la capacidad de germinación se obtuvo una muestra representativa de 100 granos seleccionados al azar por triplicado de trigo con panza blanca y trigo sin panza blanca y se pusieron en remojo durante 36 horas a una temperatura aproximada de 28 °C, después se colocaron en charolas con papel absorbente rociando con agua destilada para mantener la humedad en las muestras durante 5 días en una germinadora a 20°C. Se realizó el conteo de granos germinados después de los 5 días de germinación, considerando germinados aquellos que desarrollaron raicillas y se expresaron los resultados en porcentaje.

Determinación de la composición química del grano

Se realizaron las siguientes técnicas para determinar los porcentajes de humedad, cenizas y proteína siguiendo los métodos oficiales de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000).

Porcentaje de humedad

La técnica que se utilizó en esta investigación fue la de secado de muestras de grano moturado por triplicado en una estufa calibrada a 100°C basada en el método 44-15 A (AACC 2000).

Cenizas

Se determinaron usando el método gravimétrico después de incinerar en una mufla a temperatura de 550°C una muestra previamente pesada en una balanza analítica. Esta técnica se realizó por triplicado basada en el método 08-01 (AACC 2000).

Proteína

Se determinó por triplicado mediante el método Micro Kjeldahl del análisis químico utilizando un factor de conversión de 5.71 (trigo), basado en el método 46-13.01 (AACC 2000).

Extracto etéreo

La técnica consistió en extraer la grasa de las muestras por triplicado con éter de petróleo utilizando el equipo de extracción semiautomática Soxtec. Se realizó basada en el método 30-25(AACC 2001).

Almidón total

Se determinó por triplicado mediante el método enzimático y colorimétrico de la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC 996.11) con el kit enzimático (Megazyme, Wicklow, Irlanda).

Producción de maltas

Para llevar a cabo este proceso se seleccionaron los granos de acuerdo a las características químicas anteriormente determinadas, se lavó para remover material extraño, se remojó seguido de una germinación y secado.

Lavado del grano

Se removió el material extraño y se realizaron varios lavados a los diferentes granos de trigo con agua estéril y cloro al 10% en agitación por 15 minutos. Posteriormente se colocaron las diferentes muestras en bolsas de malla.

Remojo

Se sumergieron las muestras en un recipiente con agua destilada y se dejaron reposar por 24 horas en condiciones aeróbicas utilizando una bomba de pecera. Se mantuvieron a una temperatura de $\approx 19^{\circ}\text{C}$. Una vez concluidas las 24 horas se retiró el agua.

Germinación

Las bolsas con las muestras se colocaron en charolas con papel de filtro empapado con agua destilada para mantener una humedad relativa aproximadamente de 80% y se incubaron a temperaturas de 19°C por 5 días. Se rociaron con agua destilada las bolsas de tela para mantener la humedad relativa y se tomaron muestras cada 24 horas.

Secado

Se secaron las muestras en un horno de convección a una temperatura de 50°C . Las muestras secas se pesaron y se determinó su humedad para después determinar las pérdidas de materia seca por malteo.

Características químicas de las maltas

Pérdida de materia seca

Para determinar el rendimiento del grano ante el malteado se realizó el análisis de pérdida de materia seca. El cual consiste en relacionar las humedades antes y después del malteado con la fórmula 1.

Fórmula 1. Porcentaje de pérdida de materia seca.

$$PMS(\%) = \frac{[\text{Sólidos grano} - (100\% \text{ humedad})] - [\text{Sólidos malta} - (100\% \text{ humedad})]}{[\text{Sólidos grano} - (100\% \text{ humedad})]}$$

Almidón total

Para esta determinación se utilizó un kit (Megazyme, Wicklow, Irlanda) para la determinación de almidón en muestras de cereales que también contienen glucosa y maltodextrinas, basado en el método de la AOAC 996.11 que utiliza α -amilasa termoestable y amiloglucosidasa para determinar el porcentaje de almidón presente en las muestras, la cual se realizó por triplicado.

Azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores primero se realizó una extracción de 100 mg de muestra molida de las maltas por triplicado con 5 mL de etanol al 80% y se dejaron extraer toda una noche a 5°C, de acuerdo con la metodología descrita por Urias-Peraldi *et al.*, 2013.

Se tomaron alícuotas de 0.25 mL de muestra y se le agregaron 0.25 mL de NaOH 3.9 N y 0.5 mL de solución DNS y se llevaron a hervor por 15 minutos. Se enfriaron a temperatura ambiente y se agregaron 5 mL de agua de ionizada, para después agitarse vigorosamente. Posteriormente se leyó la absorbancia para cada muestra a 530 nm contra un blanco y se determinó la concentración utilizando una curva de calibración.

Extracción Enzimática

Para la extracción de la enzima se utilizó parte del método Betamyl-3. Primeramente, se molieron por triplicado las muestras de malta en un molino de laboratorio (Cyclone Sampler Mill, UDY Corporation Fort Collins, Colorado, USA) asegurándose de pasar una malla de abertura de 0.5 mm, posteriormente se pesaron 0.5 g de harina de malta en un tubo de polipropileno y se agregaron 0.5 mL del buffer de extracción (Tris-HCl 0.05 M, EDTA 1mM). Se dejó extraer la enzima por 1 hora a temperatura ambiente con agitación vigorosa cada 12 minutos. Una vez transcurrida el tiempo de extracción, se centrifugaron a 4,500 rpm por 10 minutos, se tomaron alícuotas del sobrenadante de 0.2 mL y agregaron a 4 mL de del buffer de dilución (Buffer MES 0.1 M, EDTA 1 mM, 1 mg/mL de BSA). Este extracto se utilizó para los diferentes ensayos de actividad enzimática.

Actividad enzimática α -amilasa

Se determinó con un kit utilizando el método ceralpha (K-CERA, Megazyme, Wicklow, Irlanda), específicamente el ensayo para preparaciones de malta basado en el método AOAC 2002.01.

Se agregaron 0.2 mL de la solución de extracto por triplicado a 3 mL del buffer ceralpha (Malato de sodio 1 M, Cloruro de Sodio 1 M, Cloruro de calcio 40 mM). Posteriormente se pre-incubaron alícuotas de 0.2 mL del extracto enzimático diluido así como la solución de sustrato (BPNPG7, α -glucosidasa) a 40°C por 5 min, posteriormente se

agregaron 0.2 mL del sustrato al extracto enzimático diluido y se incubaron por exactamente 10 minutos a 40 °C y la reacción se detuvo después de mediante la adición de 3 mL solución de fosfato trisódico (20% p/v, pH 11) y la absorbancia se midió a 400 nm contra agua destilada y se sacaron los cálculos para obtener las unidades de actividad enzimática necesarias para liberar una micromol del sustrato.

Actividad enzimática β -amilasa

Esta determinación se llevó a cabo con un kit (Betamyl-3, Megazyme, Wicklow, Irlanda) utilizando los procedimientos estándar para la extracción y medición de la actividad de β -amilasa en malta.

Se incubaron alícuotas de 0.2 mL de la solución de extracto enzimático por triplicado con 0.2 mL de la solución de sustrato (PNP β -G3) a 40°C por 10 minutos y se detuvo la reacción después mediante la adición de 3 mL de solución de Tris (1% p/v, pH 8.5). La absorbancia se midió a 400 nm contra agua destilada y se sacaron los cálculos para obtener las unidades de actividad enzimática necesarias para liberar una micromol del sustrato.

Actividad enzimática amiloglucosidasa

Se incubaron alícuotas de 0.2 mL de la solución de extracto enzimático diluido por triplicado con 0.2 mL de la solución de sustrato (p -Nitrofenil- β -maltósido) a 40°C por 10 minutos y se detuvo la reacción después mediante la adición de 3 mL de solución de Tris (2% p/v, pH 8.5). La absorbancia se midió a 400 nm contra agua destilada y se sacaron los cálculos para obtener las unidades de actividad enzimática necesarias para liberar una micromol del sustrato.

Viscosidad

Se realizó la determinación de la viscosidad de la malta con un viscoamilógrafo rápido (RVA). Pesando en una cápsula de aluminio por triplicado 3.5 g de muestra ajustada a un 14% de humedad. Posteriormente se ajustó el peso a 28.5 g añadiendo agua destilada. Se colocó la muestra en el equipo a 50°C y subió con una rampa de temperatura de 13°C/min hasta llegar a 94.5°C. Una vez alcanzada la temperatura objetivo se bajó nuevamente a 50°C con una rampa de temperatura de 13°C/min y se

mantuvo por 5 minutos. La muestra se agitó con una velocidad de 960 rpm los primeros 10 segundos y después se mantuvo a 160 rpm durante el análisis.

Elaboración de mosto

Maceración

Primero se determinaron las cantidades de malta a utilizar para cada uno de los mostos. Se realizaron 2 mostos por triplicado: En el primero se utilizó 70% en base seca de malta de trigo con panza blanca y 30% en base seca de malta de cebada. En el segundo 70% en base seca de trigo sin panza blanca y 30% en base seca de malta de cebada.

Para realizar los cálculos de la cantidad de malta necesaria se estableció el volumen a producir y la densidad deseada. El volumen fue de 1 litro de acuerdo con la capacidad de nuestro equipo de producción y la densidad de 11. 8° Brix siguiendo el estilo elegido para esta investigación.

Una vez pesado la cantidad de malta se llevó una etapa de molienda en un molino de ciclón (Seedburo 3010SM/C, Udy Cyclone Mill, Fort Collins, USA) procurando solamente quebrar el grano para exponer el almidón, sin llegar a producir harina. Posteriormente, el grano molido se pasó a la olla de maceración y se le adicionó la cantidad necesaria de agua (de acuerdo al volumen a producir) y se calentó a 67 °C con duración de 1 hora. Con la intención de mantener una temperatura promedio óptima para las enzimas α y β amilasa y trabajaran correctamente y realice a cabo la hidrólisis enzimática del almidón. Al finalizar se separó el mosto de los granos gastados con ayuda de bolsas de malla y el mosto filtrado se centrifugó a 4500 rpm por 5 minutos para remover restos de granos y harina que quedaron suspendidos y el mosto limpio se transfirió a la olla de hervor.

Aromatización

En esta etapa los mostos obtenidos se llevaron a hervor durante 1 hora. En este tiempo se realizó la adición de lúpulo en dos etapas. La primera adición se realizó una vez que comenzó a hervir el mosto, aquí se agregaron el lúpulo de amargor (Cascade). Se revolviaron para que todos se humedecieran bien. Se hirvieron por alrededor de una hora para extraer los α -ácidos que dan amargor. La segunda adición (Willamette) se

llevó a cabo durante los últimos 10 minutos. Esta última requirió menos tiempo para que los aceites volátiles hirvieran e incrementan el sabor y aroma a lúpulo.

Una vez aromatizados los mostos, se ajustó la densidad a la establecida (11.8 ° Brix) y se centrifugaron a 4,500 rpm por 5 minutos, se dejaron enfriar para que se asentara el lupulo, removerlo y una vez limpios los mostos, se dejaron en recipientes cerrados para su posterior inoculación.

Producción de Cerveza

Preparación del inóculo

Para la producción de cerveza se preparó un inóculo a partir de una cepa pura de levadura *Saccharomyces cerevisiae* WLP090 de White Labs, es una cepa de baja producción de ésteres, es conocida por fermentaciones rápidas y por producir un perfil de sabor y aroma neutro. Tiene una alta atenuación (76%-83%) y alta tolerancia al alcohol, su temperatura de fermentación óptima se encuentra entre los 18°C y 20 °C.

A partir de un vial de levadura líquida se inocularon cajas petri con agar y medio YM (Yeast Mold), se incubaron por dos días a 28°C y posteriormente se aisló una célula de levadura y se inoculó en medio YM (BD Difco™) por 24 horas a 28°C con agitación a 120 rpm, se concentraron las células mediante centrifugación a 4500 rpm por 10 minutos. Posteriormente se realizó un conteo celular en microscopio utilizando una cámara de Neubauer con una dilución 1:1000. Para calcular la cantidad a inocular se utilizó la Fórmula 2.

Fórmula 2. Cantidad de células totales a inocular.

$$\left(1 \times 10^6 \frac{\text{células}}{\text{mL}}\right) (\text{°Brix})(\text{mL mosto}) = \text{células totales}$$

Fermentación alcohólica

La inoculación se llevó a cabo en matraces esterilizados, los cuales cuentan con un sistema de recolección de muestra especial a través de una maguera de látex y donde se utiliza una válvula check que permite la salida de CO₂ y evita la entrada de aire. En una campana de flujo laminar se introdujeron los mostos a los matraces y se inocularon

con la cantidad necesaria de levadura, se dejaron fermentar por 7 días a una temperatura de 20°C en una germinadora con control de temperatura.

Análisis de mostos

Azúcares simples fermentables

Para la determinación de glucosa, maltosa y maltotriosa en mostos se utilizó un HPLC (Breeze HPLC, Waters, Milford, MA, E.E.U.U) acoplado a un detector de índice de refracción (Waters 2414).

Todas las muestras y estándares se filtraron a través de una membrana de politetrafluoroetileno con un tamaño de 0.22 μm (GH Polypro, Pall Corporation). Utilizando como fase móvil ácido sulfúrico 5 mM con un flujo de 0.6 mL/min durante 15 minutos por muestra. La columna utilizada para separar glucosa, maltosa y maltotriosa fue una Rezex™ ROA-Organic Acid H+ (8%) (20 x 4.6 mm) a 60°C. Se utilizaron estándares de glucosa, maltosa y maltotriosa para identificar y cuantificar los compuestos en las muestras.

Grados Plato

Para determinar los grados Plato del mosto se utilizó un refractómetro digital (Atago PR-32a) con capacidad de determinar niveles entre 0 y 32% de sólidos solubles.

Alfa Amino Nitrógeno (FAN)

Se determinó mediante el método AOAC 945.30 (1998), donde se midieron las absorbancias de muestras del mosto a 570 nm. Utilizando una solución de glicina como estándar y agua destilada como blanco.

Se realizó una dilución 1:1000 de una muestra de cada uno de los mostos y se transfirieron 2 mL por triplicado a tubos de ensayo. Se leyeron por triplicado 2 mL de una solución de trabajo de glicina, la cual consiste en 1 mL de 107.2 mg de glicina/100 mL aforada a 100 mL. El blanco consistió en 2 mL de agua destilada.

A cada tubo se le agregó 1 mL de solución de ninhidrina (10 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 6 g de KH_2PO_4 , 0.5 g de 1,2,3-Inadantriona y 0.3 g fructosa en 100 mL de H_2O destilada). Se taparon los tubos y se colocaron en un baño de agua hirviendo por 16 minutos, se retiraron y enfriaron a 20°C con agua. Una vez fríos se agregaron 5 mL de solución de dilución a cada tubo (2 g KIO_3 , 600 mL H_2O y 400 mL de etanol).

Posteriormente, la absorbancia se determinó a 570 nm y se restó el valor del blanco al estándar y muestras. Para obtener el valor de alfa amino nitrógeno (FAN) se utilizó la Fórmula 3.

Fórmula 3. Alfa Amino nitrógeno (FAN).

$$(FAN) = \frac{(absorbancia\ de\ la\ muestra - absorbancia\ del\ blanco)(2)(dilución)}{(absorbancia\ del\ estándar - absorbancia\ del\ blanco)}$$

Análisis de cervezas

Azúcares simples fermentables y etanol

Para la determinación de glucosa, maltosa, maltotriosa y etanol en mostos se utilizó un HPLC (Breeze HPLC, Waters, Milford, MA, E.E.U.U) acoplado a un detector de índice de refracción (Waters 2414).

Todas las muestras y estándares se filtraron a través de una membrana de politetrafluoroetileno con un tamaño de 0.22 µm (GH Polypro, Pall Corporation). Utilizando como fase móvil ácido sulfúrico 5 mM con un flujo de 0.6 mL/min durante 15 minutos por muestra. La columna utilizada para separar glucosa, maltosa y maltotriosa fue una Rezex™ ROA-Organic Acid H+ (8%) (20 x 4.6 mm) a 60°C. Se utilizaron estándares de glucosa, maltosa, maltotriosa y etanol para identificar y cuantificar los compuestos en las muestras.

Evaluación sensorial

Para esta evaluación se llevó a cabo un análisis descriptivo. El cual estuvo compuesto por un grupo de evaluadores entrenados para determinar atributos que caractericen las sensaciones percibidas. Ellos describieron forma discriminada las propiedades sensoriales (estudio cualitativo) y su medición (estudio cuantitativo).

Se tuvieron 3 muestras, las cuales fueron cerveza elaborada con malta de trigo cristalino con panza blanca, cerveza elaborada con malta de trigo cristalino sin panza blanca y cerveza de trigo comercial como nuestro control. Con el objetivo de determinar si hay diferencias entre las muestras, si tenga algún atributo para que el producto tenga más éxito en el mercado y conocer la preferencia de los consumidores.

Cada evaluador juzgó todas las muestras. La posición en la que se presentaron cada muestra se llevó a cabo mediante un orden estrictamente al azar e independientemente para cada evaluador. Se evaluó con una puntuación de 0 a 5 siendo 0 nada perceptible y 5 muy perceptible, apariencia (intensidad de color, turbidez y retención de espuma), sabor (alcohol, amargor, dulzor, acidez, frutal, residual y viscosidad) y aroma (frutal, fermentado).

Las muestras fueron evaluadas en una sola sesión y fueron 89 evaluadores entre hombres y mujeres de 23 a 35 años de edad con un consumo de cerveza ocasional.

Análisis estadístico

Para la producción de cerveza se tuvo un diseño completamente al azar con 1 factor. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) seguido de la prueba de Tukey para identificar las diferencias significativas con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Para la evaluación sensorial se tuvo un diseño de bloques al azar con 1 factor donde el bloque fueron los evaluadores. Posteriormente se llevó a cabo una prueba de Friedman y se realizó una comparación de medianas con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física del grano

Para comparar y conocer la calidad de ambos granos se determinó el porcentaje de panza blanca en nuestra muestra total y se obtuvo un 25.13 ± 0.78 % de panza blanca (TPB) considerando como panza blanca aquellos granos que presentaban un endospermo blanco y opaco en su totalidad o en la mayoría de sus zonas, a diferencia de los granos vítreos que se consideraron como trigo sin panza blanca (TSPB), los cuales tienen una superficie suave, son translúcidos y transparentes, tal como lo describe Dexter *et al*, en 1989.

En la tabla 2, se presentan las propiedades físicas de los granos utilizados. En los resultados del peso de mil granos se observa que el peso del trigo con panza blanca

es significativamente menor que el peso del trigo sin panza blanca, obteniendo 52.72 ± 0.74 g y 60.10 ± 0.85 g, respectivamente. Este comportamiento es similar al reportado por Moshatati *et al*, en 2012 en donde se realizaron comparaciones entre diferentes granos de trigo.

Este parámetro físico está relacionado con las dimensiones del grano donde se observa que los parámetros de ancho y largo fueron significativamente mayores en el trigo sin panza blanca que en el trigo con panza blanca, estas diferencias varían en diferentes estudios, donde en algunos no presentan diferencias significativas cuando se comparan, como en el caso de la investigación de López-Ahumada, *et al.*, 2010 donde si se obtuvieron diferencias significativas en el ancho del grano pero no en el largo en muestras de trigo con y sin panza blanca. por lo que la presencia de panza blanca no suele influir en el ancho y largo de los granos de trigo.

Además de la relación que existe entre la prueba del peso de mil granos y sus dimensiones, la densidad del grano es un parámetro importante de evaluar, para ello se realizó la prueba del peso hectolítrico, en donde los resultados siguieron la misma tendencia que en la prueba del peso de mil granos, se observa que el TSPB fue el de mayor valor con 81.70 ± 0.11 Kg/HL a comparación del TPB donde se obtuvo 77.76 ± 0.21 Kg/HL, ambos dentro de los valores promedio que se consideran de buena calidad para el trigo cristalino (A. Troccoli *et al*, 2000), éstas diferencias se deben a que el grano de TPB presenta una matriz proteica discontinua, resultando a su vez, en una estructura de endospermo con vacuolas de aire obteniendo una menor densidad del mismo, a diferencia del TSPB que presenta una estructura compacta y por lo tanto sin espacios de aire (Fu *et al.*, 2017, Sieber *et al.*, 2015). Esta estructura presente en el TPB explica también la apariencia blanca y opaca que se presenta en los granos con el desorden, ya que la presencia de los espacios de aire provoca que se difracte y difunda la luz, dando como resultado esa apariencia almidonosa (Dexter *et al*, 1989).

Caracterización química del grano

En la tabla 3, se muestran los resultados de las características químicas, en el contenido de humedad de ambos tipos de trigo fueron estadísticamente similares ($p \geq 0.05$), resultando en TPB (10.36 ± 0.12 %) y TSPB (10.28 ± 0.12 %), encontrándose

dentro de los valores apropiados para que no sufran una pérdida de calidad durante su almacenamiento como se menciona en la investigación de U. Nithya *et al*, 2011.

Los valores presentados de extracto etéreo fueron de 1.29 ± 0.06 % para TPB y 1.36 ± 0.05 % para TSPB sin presentar diferencias significativas entre ambas muestras, estos valores se encuentran dentro de lo esperado, ya que los cereales se caracterizan por un bajo contenido de lípidos (Serna-Saldívar, 2010). En lo que respecta a los resultados obtenidos de porcentaje de cenizas, estos se encuentran dentro de lo esperado TPB 1.53 ± 0.02 % y TS 1.47 ± 0.04 %, aunque presentan diferencias significativas, no se le adjudica a la presencia de panza blanca en el grano, sino a una mayor absorción de minerales del suelo (A. Troccoli, *et al*, 2000).

El contenido de proteína es un parámetro importante para la elaboración de cerveza, ya que es necesario tener niveles adecuados para garantizar un crecimiento eficaz de las levaduras y un rendimiento deseable en la fermentación (Lekkas *et al*, 2005), sin embargo el tener un exceso puede causar tiempos de filtración prolongados, problemas en la maceración y fermentación, los valores recomendados para las maltas de cebada oscila entre 9.5 y 10.5 % y de 11-13% para las maltas de trigo (Faltermaier *et al*, 2014). Los resultados obtenidos de contenido de proteína fueron diferentes significativamente ($p < 0.05$) con TSPB (15.02 ± 0.12 %) y TPB (10.84 ± 0.13 %), donde se puede observar como se esperaba, una reducción de aproximadamente 4% en el grano que presenta el desorden fisiológico panza blanca, esto causado principalmente por la falta de nitrógeno en el suelo durante el crecimiento de la planta y además otros factores ambientales (Solís y Díaz de León, 2001). Esta reducción de proteína en TPB, la cual corresponde principalmente a gliadinas dará como resultado no tener una correcta adhesión de la matriz proteica a los gránulos de almidón y como consecuencia presentar espacios de aire y una estructura menos densa del endospermo como se explicó anteriormente (Samson *et al*, 2005).

El contenido de carbohidratos es la principal materia prima que utilizaran las levaduras para transformarla en alcohol, es por ello de la importancia de su determinación, en la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos a partir de la diferencia de la determinación del resto de análisis proximales, TSPB (71.82 ± 0.14 %) y TPB ($76.00 \pm$

0.07 %), de igual manera que en el contenido de proteína se observan diferencias significativas siendo la muestra de TSPB la de mayor valor, sin embargo más adelante se corroborarán estos resultados con la prueba de almidón total, ya que se tomó como resultado la diferencia del resto de análisis, no se toman en cuenta los espacios de aire que se presentan en el TPB. El almidón es el carbohidrato más importante en los cereales, debido a que es su principal reserva de energía (Vamadevan & Bertoft, 2015).

Otros granos como la cebada y el sorgo tienen un contenido similar de propiedades químicas 10 y 11 % para el contenido de proteína, 70 y 65 % de almidón total y 4 y 3 % de extracto etéreo respectivamente (Ogbonna, 2011). Además, algunos granos utilizados como adjuntos en el proceso de elaboración de la cerveza tienen un bajo contenido de proteínas, como el maíz y el arroz, que van del 6 al 10 % (Cadenas et al., 2021).

Tabla 2. *Propiedades físicas de los granos de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).*

Parámetro	TPB	TSPB
Peso de 1000 granos (g)	52.72b $\pm$ 0.74*	60.10a $\pm$ 0.85*
Peso hectolítrico (kg/HL)	77.76b $\pm$ 0.21*	81.70a $\pm$ 0.11*
Ancho (mm)	2.99b $\pm$ 0.29*	3.18a $\pm$ 0.28*
Largo (mm)	7.10b $\pm$ 0.43*	7.34a $\pm$ 0.40*

*Desviación estándar.

La letra diferente dentro de la fila indica diferencias significativas estadísticamente ($p < 0.05$).

Tabla 3. *Caracterización química de los granos de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).*

Parámetro	TPB	TSPB
Humedad (%)	10.36a $\pm$ 0.12*	10.28a $\pm$ 0.12*
Cenizas (%)	1.53a $\pm$ 0.02*	1.47b $\pm$ 0.04*
Extracto etéreo (%)	1.29a $\pm$ 0.06*	1.36a $\pm$ 0.05*
Proteína (%)	10.84b $\pm$ 0.13*	15.02a $\pm$ 0.12*
Carbohidratos(%)	76.00a $\pm$ 0.07*	71.82b $\pm$ 0.14*

*Desviación estándar.

La letra diferente dentro de la fila indica diferencias significativas estadísticamente ($p < 0.05$).

Curva de absorción de humedad

Se realizó una prueba para determinar el tiempo de remojo adecuado que necesitan las muestras tanto de TSPB como de TPB para un correcto inicio de germinación para el malteado. En la figura 1 se muestran los valores de absorción de humedad durante 30 horas de remojo, se comenzaron con valores iniciales de humedad de TPB (10.36 %) y TSPB (10.28 %). Después de un lapso de 2 horas se duplicó su valor hasta 22.25% y 24.28% respectivamente, se puede observar que fue el lapso donde hubo una mayor absorción durante toda la prueba, posteriormente se tuvo un aumento hasta llegar a un punto máximo de 41.33% para TPB a las 24 horas y de 41.59% para TSPB a las 26 horas y la absorción se mantuvo constante hasta las 30 horas que se decidió terminar con la prueba.

En base a estos datos, se tomó la decisión de dejar en remojo las muestras por 24 horas con aireación a temperatura de 19°C antes de iniciar la etapa de malteado de los granos, ya que el contenido de humedad apropiado para que se tenga una máxima modificación enzimática del endospermo durante el comienzo de la germinación, oscila entre el 36 y 40% (Serna-Saldívar, 2010). Los niveles de humedad deben ser lo suficientemente bajos para inactivar las enzimas involucradas en la germinación de semillas y el crecimiento de microorganismos patógenos (Fox et al. 2003).

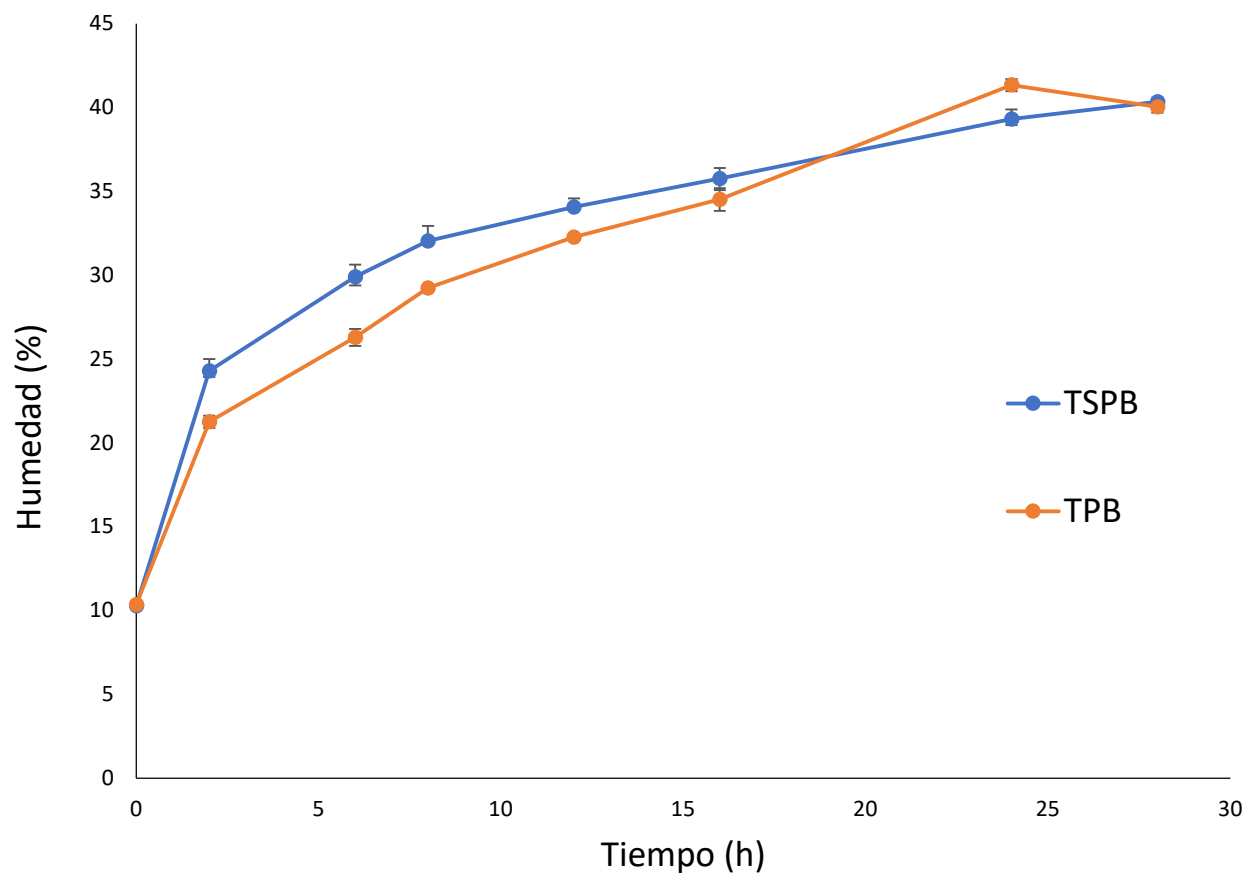


Figura 1. Curva de absorción de humedad durante el remojo de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).

ANÁLISIS DE LA MALTA

Capacidad germinativa

Los resultados obtenidos de la capacidad germinativa fueron TPB 90 ± 0.30 % y TSPB 92 ± 0.27 % y no presentan diferencias significativas estadísticamente ($p < 0.05$). De acuerdo a Kihara, 2013 un porcentaje superior al 90% se considera normal para granos de trigo, por lo que ambas muestras se encontraron dentro de lo aceptado y es apto para poder llevar a cabo el proceso de malteo para liberar sintetizar las enzimas y posteriormente utilizarse en la elaboración de la cerveza. Kumar y colaboradores reportan que los niveles normales en la malta de cebada son arriba del 96%, con estos valores se disminuye la probabilidad de presentar problema de latencia en algunos granos y esto pueda afectar en el proceso de malteado, estos problemas se encuentran estrechamente relacionados con el porcentaje de humedad en los granos.

Pérdida de materia seca

Como era de esperarse, hubo un aumento progresivo en las pérdidas con el tiempo manteniendo la temperatura constante. Obteniendo resultados de 4.18 ± 0.88 % para la muestra de TPB y 2.89 ± 0.40 % para TSPB. Estos valores son bajos a los obtenidos por Deme, *et al*, 2020 y Padilla-Torres, *et al*, 2022 con muestras de trigo. La pérdida de materia seca refleja la disminución del peso del grano de trigo resultante del proceso de malteado y está asociada a las modificaciones que conducen a la germinación (Belcar et al., 2021). La mayor pérdida de materia seca se encontró en la muestra de TPB 4.18 ± 0.88 %, en comparación con el normal 2.89 ± 0.40 %, además de estar significativamente correlacionada con la pérdida por respiración y la eliminación de raicillas, también se puede correlacionar con la mayor actividad de α -amilasa que disminuye el almidón total (Figura 5-A). De acuerdo con otras investigaciones como la de Ogbonna et al., 2011, existe una pérdida mínima de materia en el grano de trigo, en comparación con otros granos como la cebada y el sorgo que en promedio tienen una pérdida de materia seca entre 8 a 10 % y 10 a 30 % respectivamente. durante la germinación, con características muy similares al grano de trigo, con contenido proteico similar.

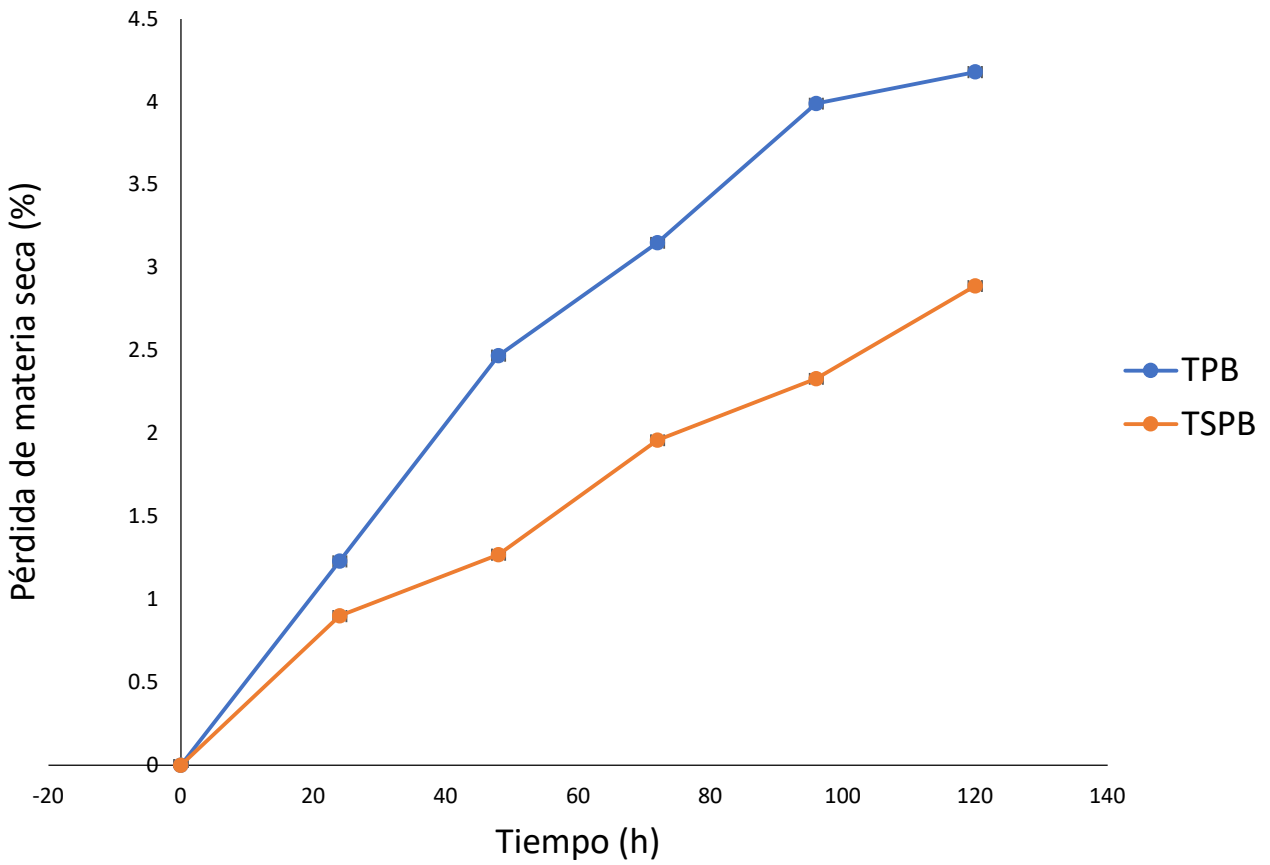


Figura 2. Porcentajes de pérdida de materia seca durante 120 horas de germinación de las muestras de malta de trigo con panza blanca (TPB) y malta de trigo sin panza blanca (TSPB).

Almidón total

En la figura 3 se puede observar que la muestra con panza blanca tenía un mayor contenido de almidón total al inicio de la prueba, estos valores se calcularon con la diferencia del resto de las determinaciones de la caracterización química del grano, sin embargo, al pasar el primer día de germinación se pudieron observar diferencias similares entre las muestras obteniendo valores más altos en la muestra TPB con $66.36 \pm 1.08\%$ en comparación con la muestra de TSPB que contenía un $59.56 \pm 0.047\%$. Con estos resultados podemos concluir que esta diferencia se le atribuye principalmente a la falta de la matriz proteica en la presencia del desorden fisiológico panza blanca, durante el desarrollo del grano, éste compensa con almidón cierta cantidad de esos espacios libres que deja la matriz proteica, permitiendo así tener un mayor porcentaje de almidón total. En la investigación de El-Khayat, *et al*, 2003, se obtienen resultados con mayor contenido de almidón total en las muestras con apariencia “almidonosa” de hasta un 10% en comparación con granos vítreos, similar a nuestros resultados con granos con y sin panza blanca. Sin embargo, sigue dejando ciertos espacios con aire, esto lo pudimos comprobar con la prueba de peso hectolítrico en la tabla 2 que nos arrojó resultados de una menor densidad dentro del grano de la muestra con la presencia del desorden fisiológico panza blanca.

Durante las 120 horas de germinación las dos muestras mantuvieron un comportamiento similar en la disminución del porcentaje de almidón total obteniendo al final valores de $52.18 \pm 0.88\%$ para la muestra de TPB y $47.17 \pm 0.40\%$ para la muestra de TSPB, con disminuciones de 23.82 y 24.65% respectivamente, durante todo el tiempo que duró la germinación, concluyendo que la presencia del desorden fisiológico afecta en el contenido de almidón total, pero no en su comportamiento a través del tiempo. Comparando los resultados con la investigación de Langenaeken, *et al*, 2020 donde se estudia el comportamiento del almidón durante el proceso de elaboración de cerveza con malta de cebada, se observa que durante el malteado que duró de 4 a 6 días, el porcentaje de almidón total disminuye debido a procesos de respiración y poder diastático para poder abastecer de carbohidratos al embrión y por lo tanto se tiene una pérdida de masa, como se discutió anteriormente esto se

encuentra relacionado con la pérdida de materia seca y si se observan las figuras 2 y 3 se encuentra una correlación inversa entre estos dos factores.

Azúcares reductores

El total de azúcares reductores se determinó por medio del método de DNS, en el cual el ácido 3,5 dinitrosalicílico provoca una reacción de oxidación de los azúcares reductores presentes, permitiendo conocer así su concentración después de una lectura de absorbancia en un espectrofotómetro. La generación de azúcares reductores está asociada a la hidrólisis de los gránulos de almidón; la alfa amilasa genera dextrinas que sirven como sustrato para la beta amilasa que genera primordialmente maltosa y maltodextrinas y la amiloglucosidasa que produce glucosa (Sammartino, 2015). Estos son los principales azúcares que estarán disponibles en el mosto para la levadura, por eso la importancia de conocer su concentración.

En la figura 4 se muestra la cinética del total de azúcares reductores en las maltas de trigo con y sin panza blanca durante 120 h de germinación. Se puede observar que ambas maltas tuvieron el mismo comportamiento hasta las 72 horas, donde el trigo con panza blanca presentó una mayor velocidad de generación de azúcares reductores en comparación a la malta TSPB, sin embargo, a las 96 horas de germinación la malta TSPB tuvo un despunte similar en la velocidad e incluso obteniendo una mayor cantidad de azúcares reductores después de 120 horas con 201.06 ± 5.03 mg/g sin diferencias significativas con la malta TPB que obtuvo 183.77 ± 6.96 mg/g. Este comportamiento se relaciona altamente con la actividad enzimática cuantificada. A las 72 horas de germinación, la actividad de la alfa amilasa en la malta de TPB fue superior que la malta sin el desorden fisiológico, posteriormente (96 horas) los valores vuelven a ser muy similares.

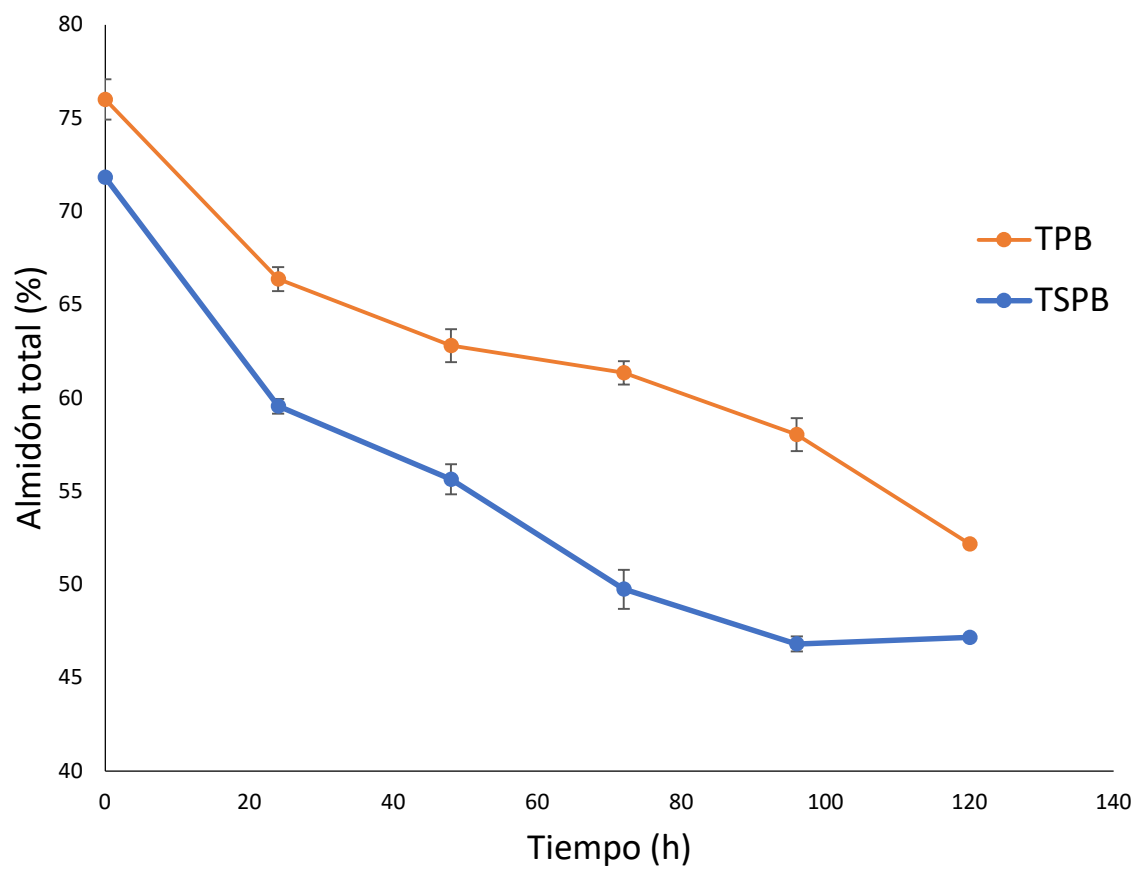


Figura 3. Porcentajes de almidón total durante el tiempo de germinación de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB)

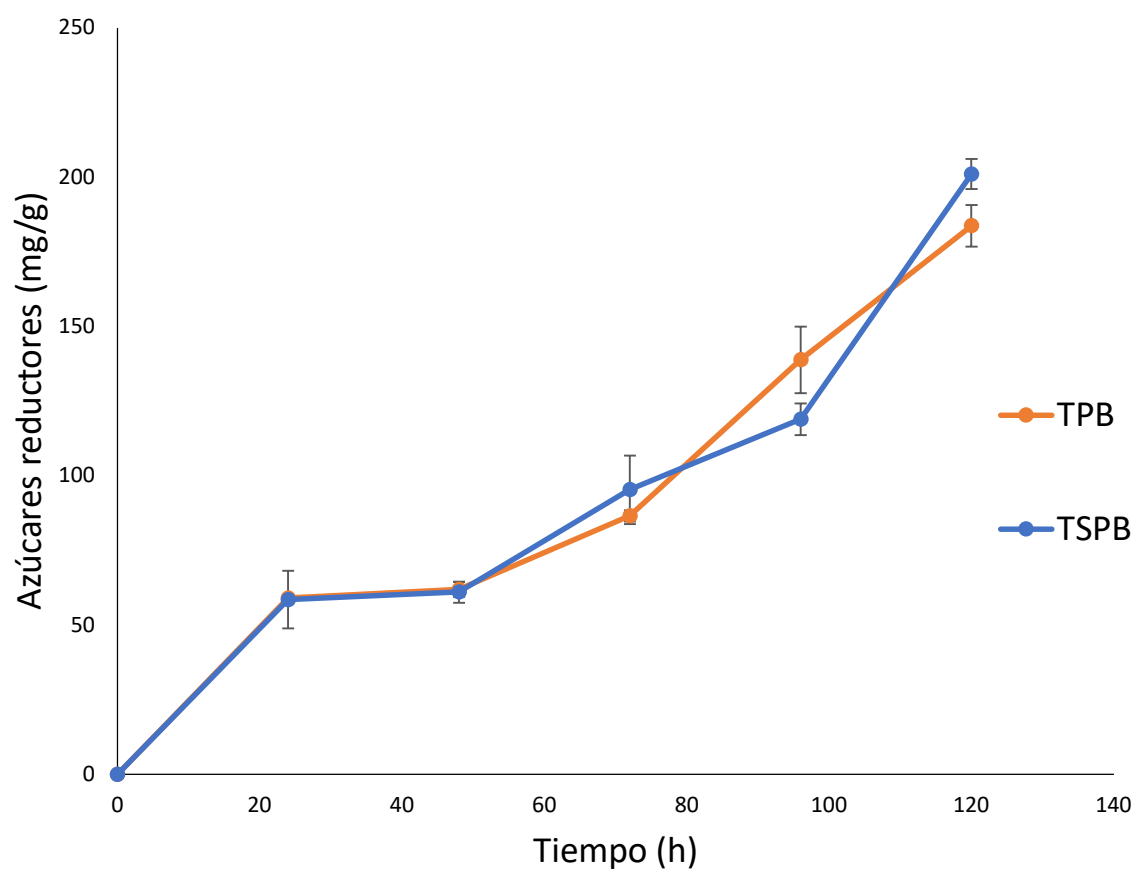


Figura 4. Desarrollo de azúcares reductores durante el tiempo de germinación de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).

Actividad Enzimática

Durante las 120 horas de germinación, se determinó la actividad de las principales enzimas en el malteo que son las que hidrolizan a los gránulos de almidón, alfa amilasa, beta amilasa y amiloglucosidasa. Durante la germinación, la mayoría de las betas amilasas unidas se liberan o activan, mientras que la alfa amilasa se sintetiza. En la figura 5 se muestra el desarrollo que tuvieron cada una de ellas donde se observa que la alfa amilasa fue la enzima con mayor incremento en ambas muestras. En la muestra con presencia de panza blanca se incrementó casi cuatro veces su valor inicial, de 57.75 ± 1.78 U/g a 242.06 ± 1.78 U/g después de 120 horas, de igual manera, en la muestra sin panza blanca se presentó un comportamiento similar con una diferencia de 36 U/g menos al finalizar la germinación, esto explica por qué se cierran las curvas en la gráfica de porcentaje de almidón total previamente presentada donde la muestra con panza blanca parece tener una tendencia a seguir disminuyendo a diferencia de la muestra sin panza blanca con tendencia a quedarse estable en el tiempo.

La hidrólisis con alfa amilasa produce dextrinas lineales y ramificadas, posteriormente la beta amilasa que es una exoenzima que convierte dextrinas lineales y ramificadas en maltosa y dextrinas de más bajo peso molecular, complementa la alfa amilasa al hidrolizar las dextrinas que se generaron por acción de la alfa amilasa. La actividad de la beta amilasa cesa cuando alcanza un enlace glucosídico alfa-1,6 o una ramificación (Gomaa, 2018).

Sabiendo esto, se puede explicar el por qué a pesar de que se tuvo una mayor conversión de almidón a dextrinas en el trigo con panza blanca a causa de la acción de la alfa amilasa, se tuvo una menor cantidad de azúcares reductores que el trigo sin panza blanca al finalizar la germinación, ya que como se puede observar en la gráfica, se tuvo una mayor liberación y/o activación de beta amilasa en el trigo sin panza blanca, provocando que se desarrollaran más maltosas y dextrinas de bajo peso molecular, como lo reportaron Wenwen *et al.* en el 2019 aunque en su investigación tuvieron una mayor actividad tanto de alfa como beta amilasa, no observaron un aumento en el contenido de maltosa, concluyendo que existen otros factores que

afectan la liberación de azúcares fermentables, como el contenido de proteína o la estructura del almidón..

En el caso de la amiloglucosidasa no se observaron diferencias significativas entre las dos muestras, se mantuvieron prácticamente similares a pesar del pasar del tiempo, con un aumento de 4 unidades para el grano con panza blanca y 3 unidades de actividad enzimática por gramo para el grano sin panza blanca, que representa aproximadamente un 50% de los valores iniciales. La amiloglucosidasa es una enzima exoamiliolítica que libera glucosa de las dextrinas. Esta enzima es capaz de hidrolizar los enlaces alfa-1,4 y alfa-1,6 glucosídicos y por lo tanto convierte la maltosa o las dextrinas en glucosa o dextrosa.

Uno de los objetivos de la germinación es obtener la máxima actividad enzimática con la menor pérdida de materia seca. Donde las enzimas se producen secuencialmente, primero en el germen y luego en la multicapa de aleurona de la cebada o monocapa de trigo. Generalmente, las primeras enzimas producidas son lipasas y lipooxigenasas seguidas por enzimas fibrolíticas o de degradación de la pared celular, como celulasas, beta glucanasas, xilanasas y hemicelulasas que permiten la entrada en el endospermo de las más relevantes proteasas y amilasas.

En la investigación de Guzmán-Ortíz *et al.*, (2019) donde se determinaron las diferentes actividades enzimáticas durante el tiempo de germinación de diferentes granos, donde se incluía trigo harinero, cebada, sorgo, entre otros, se observó que la actividad de alfa amilasa disminuía después del tercer día de germinación en el caso de las muestras de trigo. De acuerdo con la investigación realizada por Padilla-Torres *et al.*, (2022), el tiempo óptimo de germinación para muestras similares en trigo harinero fue de 120 y 144 horas, tiempo en el que se obtuvo una mayor actividad de alfa, beta y amiloglucosidasa en maltas estudiadas de cebada y trigo. Tomamos de referencia estas investigaciones para realizar nuestro experimento de germinación. En nuestros resultados los niveles de alfa amilasa, beta amilasa y amiloglucosidasa se vieron favorecidos a las 120 horas con el máximo de cada una de ellas y una pérdida de materia seca de 4.18 ± 0.88 % para la muestra de TPB y 2.89 ± 0.40 % para TSPB. La comparación de estos resultados con los publicados por Deme *et al*, 2020, indica

que los valores obtenidos de la pérdida de materia seca se encuentran por debajo de los valores esperados en el caso de la malta de cebada que se encuentran en el rango entre 12 y 13%, lo cual nos puede indicar que aún se puede extender el tiempo de germinación para obtener una mayor actividad enzimática y manteniendo buenos niveles de pérdida de materia seca.

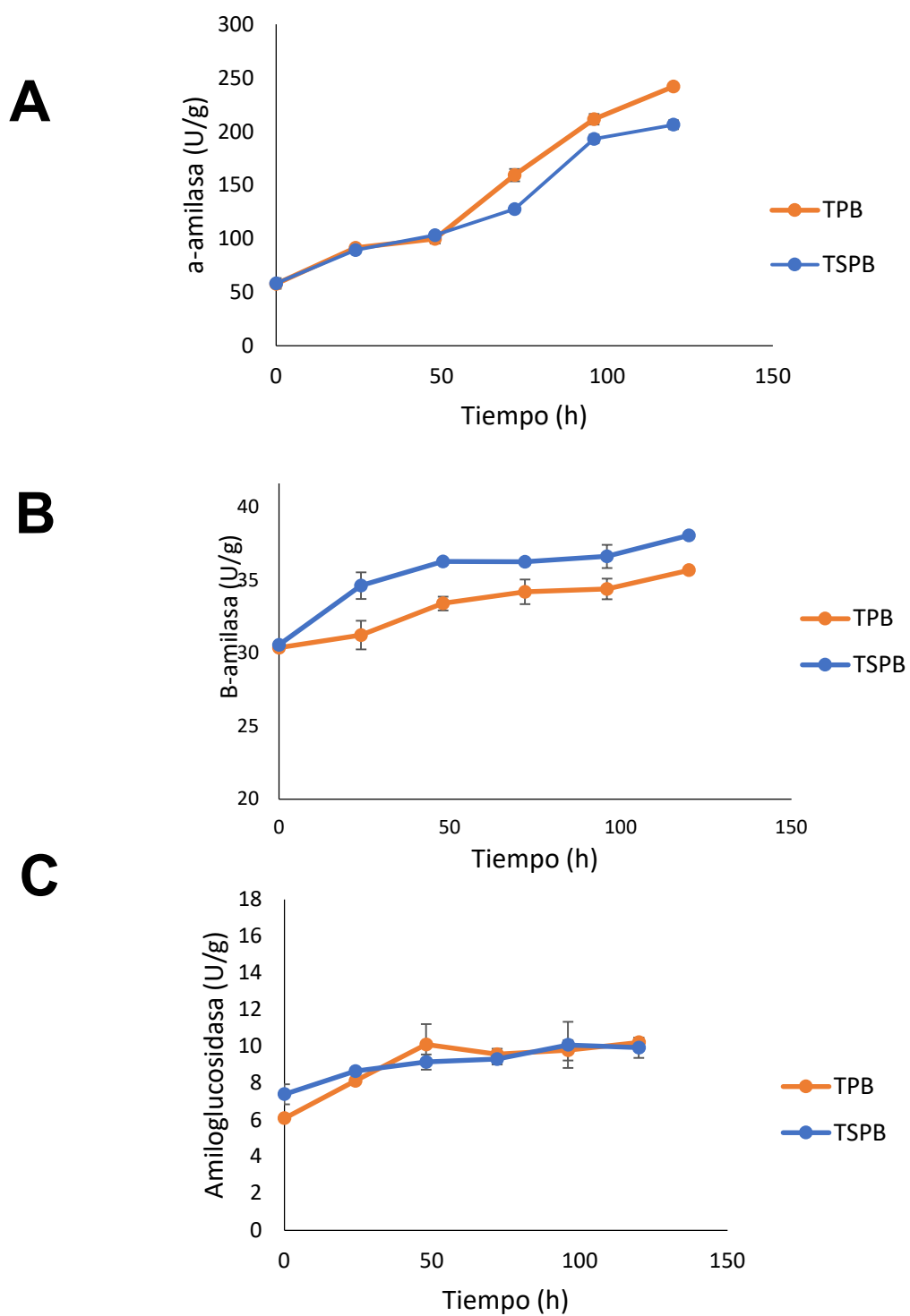


Figura 5. Actividades enzimáticas de α -amilasa (A), β -amilasa(B) y amiloglucosidasa (C) de las muestras de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin (TSPB) durante el tiempo de germinación.

Viscosidad

La viscosidad del almidón está estrechamente relacionada con la actividad enzimática ya que al tener una menor viscosidad es un indicador de que el almidón se encuentra más digestible. La digestibilidad del almidón depende de varios factores, cuando ya está gelatinizado es muy digerible, a comparación de otras formas en las que el almidón es muy difícil de atacar por las enzimas, es lo que llamamos almidón resistente. Durante la germinación se presentan procesos de gelatinización y retrogradación que vuelven al almidón más digestible para las enzimas y provocando así una disminución en la viscosidad. Para esta determinación se realizó un análisis de viscosidad rápido, el cual es un indicador rápido y confiable de la actividad diastática de las maltas.

En las figuras 6 y 7, se muestran los cambios de las curvas del RVA durante las diferentes etapas en las que se encontraban los granos: antes del remojo, después del remojo y a las 120 horas de germinación. Se puede observar claramente que en la etapa de grano sin remojar su viscosidad máxima fue mucho mayor significativamente a la del grano después del remojo en ambas muestras, esto se debe a que, durante el tiempo de remojo, el agua ingresa al núcleo y se distribuye posteriormente al resto del grano, lo que permite hincharse y gelatinizarse permitiendo a las enzimas degradar el almidón y por consiguiente que éste disminuya su viscosidad.

En el caso de la muestra de TPB se obtuvieron valores de pico de viscosidad máxima para el grano antes de remojar de 712 ± 11.54 cP a 324°C , después del remojo de 124 ± 4.58 cP a 180°C y de 36.66 ± 0.57 cP a 164°C después de 120 horas de germinación. En las muestras de TSPB se obtuvieron valores de 746 ± 9.34 cP a 324°C , 123.66 ± 2.51 cP a 184°C y 29.33 ± 0.57 a 164°C para las muestras antes del remojo, después del remojo y después de 120 horas de germinación respectivamente. Estos cambios de viscosidad ocurrieron debido a que los gránulos de almidón contenidos en la suspensión molida de la malta en agua, estaban previamente hidrolizados por la actividad de las enzimas amilolíticas generadas durante los siete días de germinación,

en los granos no germinados, las enzimas que degradan el almidón están presentes pero su actividad es muy baja. Se observa que el comportamiento para ambos tratamientos fue muy similar, concluyendo que la presencia del desorden fisiológico panza blanca en el trigo cristalino no influye en su viscosidad.

En la figura 6 se observa que la temperatura de gelatinización para la muestra de TSPB ronda alrededor de los 68° C y 69 °C para la muestra TPB en la figura 7, obteniendo una gelatinización a menor temperatura en comparación con la investigación de Padilla-Torres, *et al*, 2022 con muestras de trigo panadero donde se tuvieron temperaturas de gelatinización de 94 °C, concuerda con la investigación de Shevkani, *et al*, 2017, donde se afirma que a menor contenido de amilosa y mayor contenido de amilopectina que es el caso del trigo cristalino en comparación al trigo panadero, sin embargo, hay que tomar en cuenta otros factores que influyen como la longitud de las cadenas de amilopectina, que en nuestro caso desconocemos y el contenido de lípidos del almidón.

De igual manera, si se observan las figuras 6 y 7 se tienen valores menores de retrogradación las muestras de trigo sin germinar (926 cP) en comparación por ejemplo con los valores de cebada obtenidos por Cozzolino en 2013, de (1139.2 cP), pero comparando con Padilla-Torres, *et al*, 2022 con valores de 414 cP para el trigo panadero sin germinar se tiene una diferencia mayor con valores más altos en el caso de nuestra investigación, esto se encuentra relacionado también con la composición de amilosa y amilopectina de los diferentes granos y que durante el análisis de RVA la amilosa formó agregados con lípidos menos compactos y por lo tanto diferentes valores de viscosidad entre muestras (Tang y Copeland, 2007).

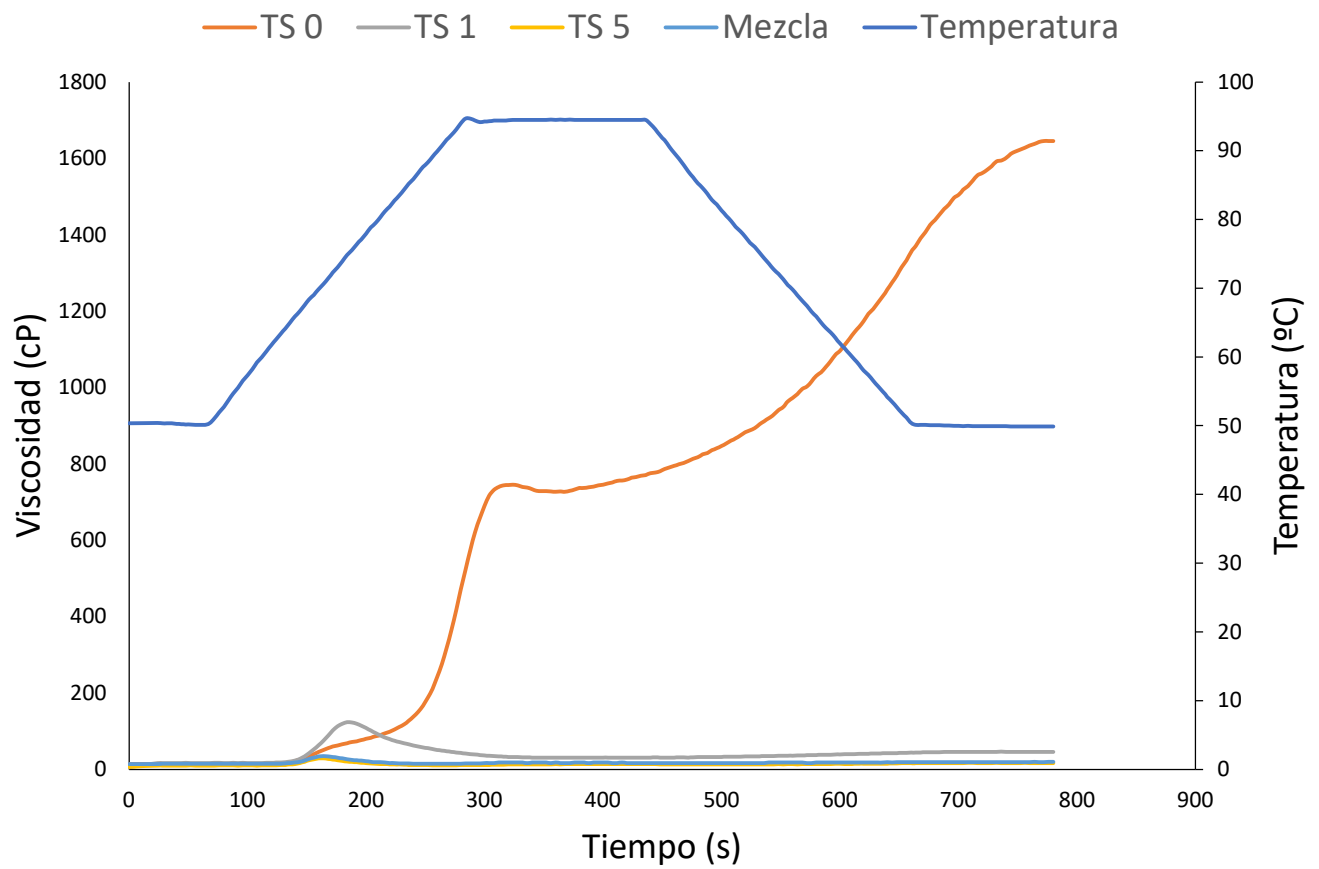


Figura 6. Viscosidades del trigo sin panza blanca durante diferentes etapas del malteado de los granos; TSPB 0= grano sin germinar, TSPB 1= grano remojado y TSPB= grano después de 5 días de germinación.

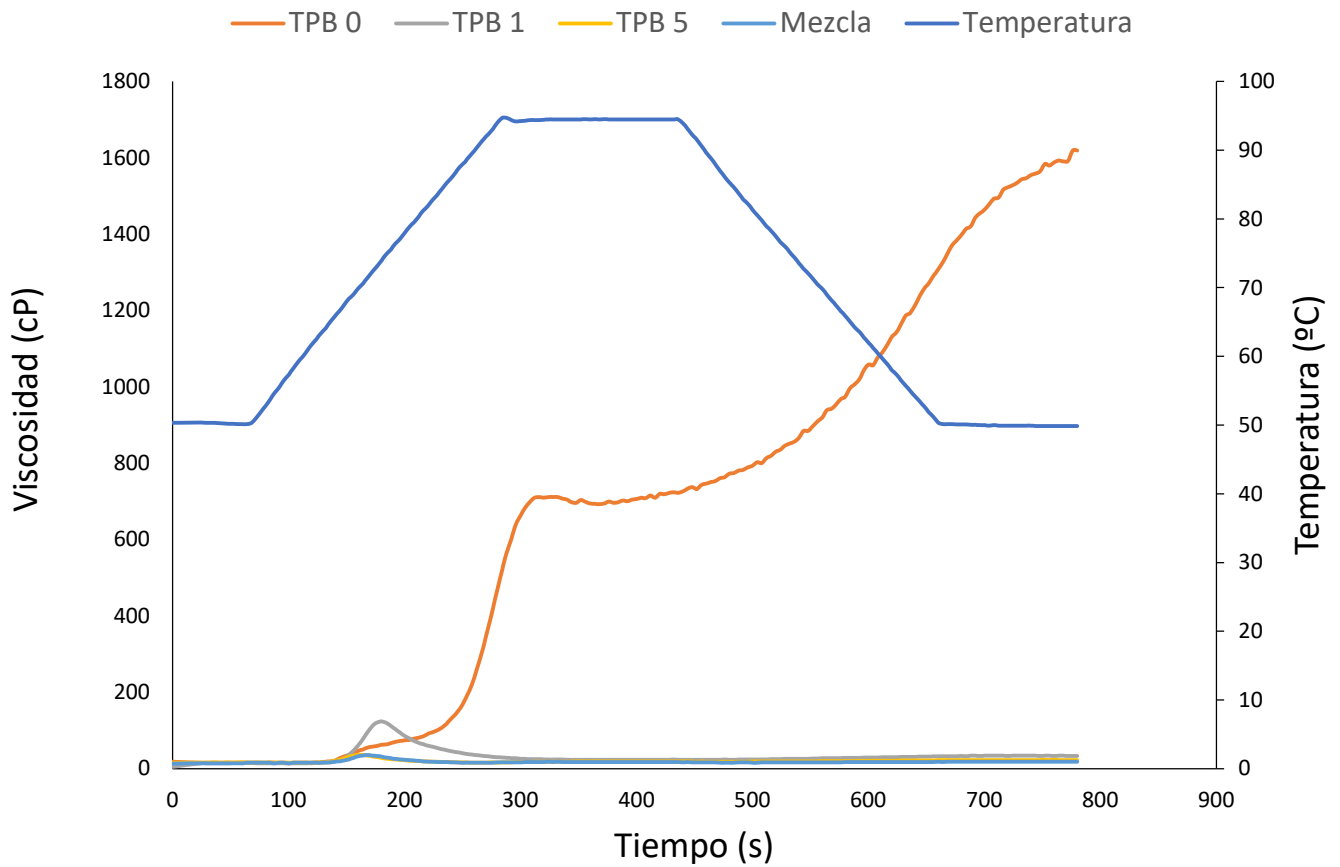


Figura 7. Viscosidades del trigo con panza blanca durante diferentes etapas del malteado de los granos; TPB 0= grano sin germinar, TPB 1= grano remojado, TPB= grano después de 5 días de germinación y Mezcla= 70% grano de trigo con panza blanca y 30% cebada después de 5 días de germinación.

Análisis del mosto

FAN

La cantidad de sustancias nitrogenadas de bajo peso molecular se denomina nitrógeno amínico libre (FAN). El FAN representa alrededor del 20% del contenido de nitrógeno soluble en la malta, la falta o el exceso de éste afecta el rendimiento de la fermentación y el desarrollo de subproductos de la fermentación. En la producción de cerveza, los valores de FAN deben ser lo suficientemente altos para garantizar que la falta de nutrientes nitrogenados de la levadura no limite la fermentación. Además, una alta concentración de FAN puede desarrollar sabores desagradables debido a las reacciones de Maillard.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las determinaciones de FAN de mostos realizados con las diferentes muestras de este estudio, teniendo $142,13 \pm 0,34$ mg/mL para muestra elaborada con YB y $152,46 \pm 7,65$ mg/mL para muestra de grano normal. Los valores estándar para mostos elaborados con malta de cebada sugieren un contenido de FAN para asegurar la nutrición de la levadura y evitar sabores no deseados durante la fermentación de 100 -200 mg/L. (O'connor-Cox, e Ingledew, 1989. De acuerdo a este valor, ambos mostos presentaron niveles adecuados.

pH

El pH del agua tiene un importante efecto en los procesos durante la producción de cerveza. Dependiendo de la etapa en que se encuentre los valores varían, por ejemplo, el pH del lavado durante el macerado es importante para la conversión enzimática del almidón y la proteína. El pH óptimo para la conversión de almidón y la producción de azúcar está entre 5.2-5.6, un macerado por debajo de esos valores puede provocar que el macerado se detenga debido a la reducción de la actividad de las enzimas amilasa. y el pH alcalino en la maceración provoca la extracción de fenoles, que imparten un carácter astringente a la cerveza. Además del efecto en la maceración, las enzimas proteolíticas actúan mejor con un pH de entre 4.6 a 5.0 para garantizar una producción adecuada de nitrógeno alfa amino libre (FAN) para el metabolismo de la levadura durante la fermentación (Bamforth, 2001). Por esta razón ajustamos el valor al comienzo de la maceración a 5.2 utilizando ácido cítrico, ya que las muestras

con y sin panza blanca tenían valores de 5.6 y 5.7 respectivamente. (O'Rourke, 2002) menciona que la composición mineral del agua de macerado tiene un efecto durante el proceso, ya que si se encuentran iones de calcio en presencia de fosfatos se precipitan como fosfatos de calcio acidificando el mosto.

Color

El color del mosto es una consecuencia de las reacciones de Maillard, principalmente las llevadas a cabo en la etapa de secado de la malta y la etapa de hervor. Dependiendo de la etapa de la reacción de Maillard, se forman estos productos de color, El color de la malta y la cerveza se atribuye en su mayoría a las melanoidinas, producto de la fase final de la reacción de Maillard. En la tabla 5 se presentan los valores de color entre los mostos de trigo con valores de 9.74 ± 0.06 °EBC para TPB y 9.86 ± 0.08 °EBC para TSPB. El color de los mostos indicados en la tabla muestra diferencias principales asociadas al tipo de grano.

°Plato

En la tabla 4 se muestran los valores de los mostos que se ajustaron a 11. 8° plato, valor que debería representar el porcentaje de azúcares totales en el mosto. Las dextrinas representan el 90% del carbohidrato residual de la cerveza ya que la levadura no es capaz de metabolizarlas, alrededor del 40- 50% de las dextrinas son oligosacáridos que contienen 4-9 unidades de glucosa, y el 50-60% restante son dextrinas superiores con 10 o más unidades de glucosa.

Tabla 4. *Efecto de las maltas de trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB) sobre los rendimientos y la composición de los mostos ajustados a 11.8° plato.*

Parámetro	TPB	TSPB
FAN (mg/L)	142.13b ± 0.34*	152.46a ± 7.65*
pH	5.20a ± 0.02*	5.20a ± 0.04*
Color (°EBC)	9.74a ± 0.06*	9.86a ± 0.08*
°Plato	11.8a	11.8a
Glucosa (mg/g)	20.53a ± 1.14*	17.12b ± 1.67*
Maltosa (mg/g)	61.62a ± 3.05*	65.20a ± 5.33*
Maltotriosa (mg/g)	20.76a ± 1.16*	22.30a ± 2.05*
Azúcares totales (mg/g)	102.91a ± 3.07*	104.62a ± 2.43*
Volumen filtrado (mL)	276a ± 8.59*	201a ± 6.73*
Volumen final (mL)	921a ± 9.07*	963a ± 7.56*

*Desviación estándar.

La letra diferente dentro de la fila indica diferencias significativas estadísticamente ($p < 0.05$).

Análisis de Fermentación

FAN

En la figura 8 se presenta el cambio en el contenido del FAN durante la fermentación. Donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, teniendo una mayor concentración de alfa amino nitrógeno residual en la cerveza de trigo sin panza blanca. Los valores del último día de fermentación de los dos tratamientos están dentro de los rangos en cervezas que varían de entre 10 a 120 mg/L. La cerveza TPB tuvo una reducción del 39% durante los 7 días de fermentación y la cerveza TSPB del 28%, ambas muestras presentando una reducción del 20% durante las primeras 24 horas y posteriormente presentaron una tendencia a mantenerse constante. Esto concuerda con otras investigaciones donde durante las primeras horas que son la fase de latencia, las levaduras aprovechan estos aminoácidos y péptidos para después iniciar la reproducción.

pH

De igual manera que el FAN, el pH disminuyó y tuvo un comportamiento similar, debido a la generación de ácidos orgánicos volátiles y no volátiles que se sintetizaron a partir de aminoácidos por desanimación (O'Rourke, 2002). El cambio en el pH ocurrió principalmente durante las primeras 48 horas de fermentación. El pH final de las cervezas fermentadas por 7 días fue ligeramente mayor para la cerveza de trigo sin panza blanca con 4.85 y con 4.75 para la cerveza de trigo con panza blanca. Estos valores concuerdan con lo obtenido por Mascia, *et al*, 2014 donde realizaron tres cervezas con trigo cristalino y los valores de pH final estuvieron entre 4.29 y 4.72, además el valor más bajo que obtuvieron de pH (4.2) fue la muestra de cerveza con mayor grado de fermentación obteniendo el mayor contenido de alcohol y el menor valor de pH, y debido a que menciona que se utilizaron diferentes cepas de levaduras *S. Cerevisiae*, se puede deducir que la levadura utilizada para esa cerveza en específico excretó mayor cantidad de ácidos orgánicos, provocando una mayor acidez en la cerveza y disminuyendo así su pH.

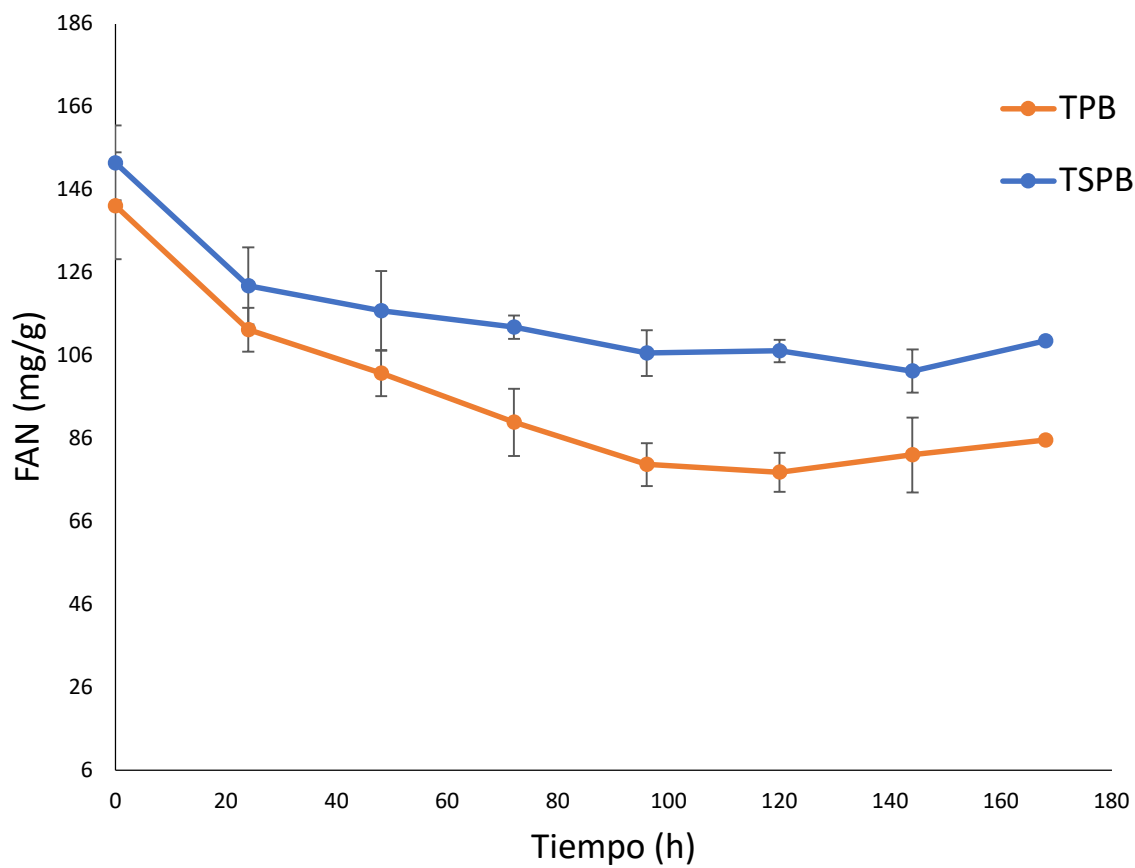


Figura 8. Evolución del alfa amino nitrógeno libre (FAN) en los mostos de trigo con panza blanca y trigo sin panza blanca (TSPB), durante 7 días de fermentación.

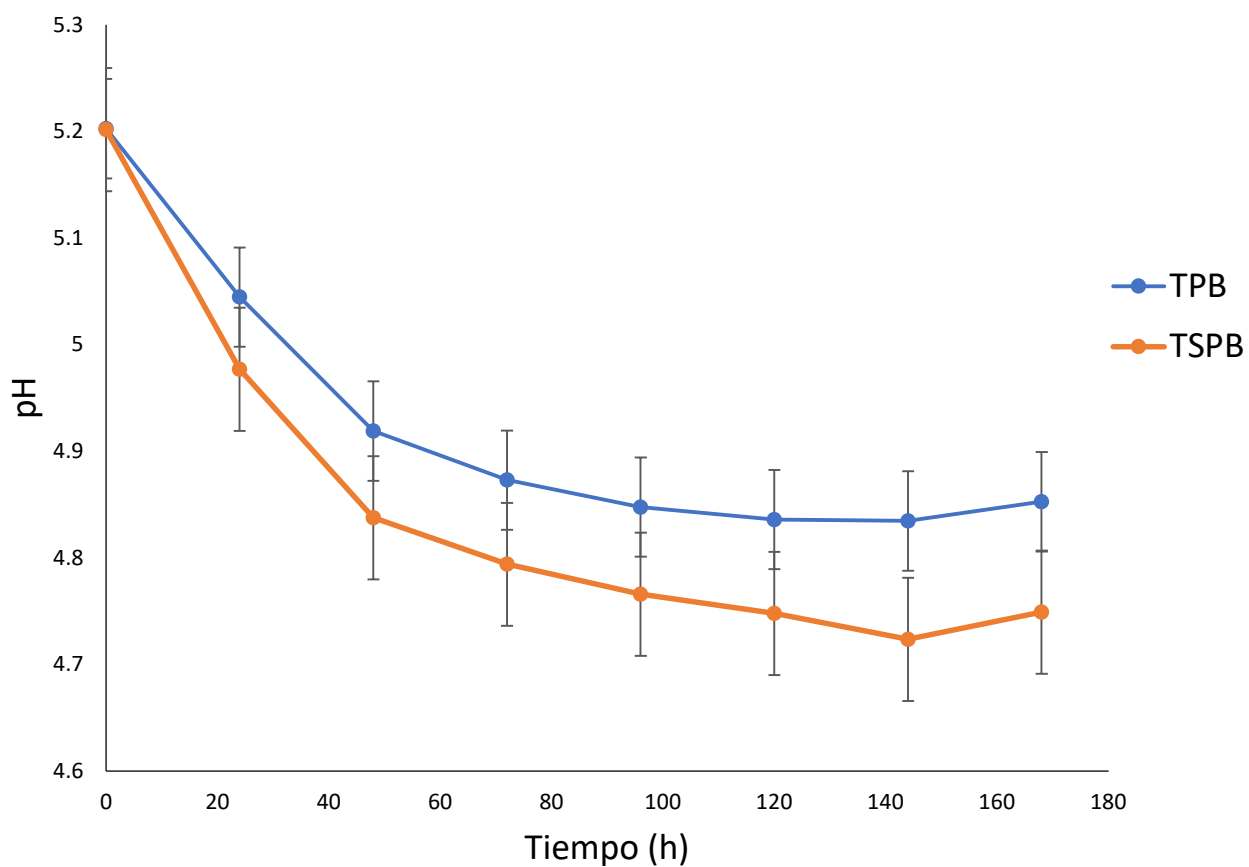


Figura 9. Comportamiento del pH de los mostos de trigo con panza blanca y trigo sin panza blanca (TSPB), durante 7 días de fermentación.

Color

Según la escala de EBC, el rango de las cervezas de trigo es de 6-18° EBC, se clasifican como pálidas, en la figura se observa un comportamiento constante del color durante la fermentación. El color de la cerveza está determinado principalmente por el tipo y la concentración de los productos de reacción de Maillard creados durante el malteado del trigo. Los aportes secundarios al color surgen durante la etapa de hervor del mosto y/o la oxidación de polifenoles durante el envejecimiento de la cerveza terminada. Ambas situaciones son más evidentes en el mosto y la cerveza de color claro como en el caso de las elaboradas con trigo. Los ajustes de color posteriores a la fermentación se deben a la oxidación y se manifiestan con color caramelo, sin embargo, esto se considera un defecto.

Azúcares fermentables y producción de etanol

En la figura 10 se muestra la cinética de los tres principales azúcares fermentables de los diferentes mostos durante los siete días de fermentación. Como se anticipaba los azúcares fermentables más abundantes en el mosto de la cerveza fueron en primer lugar la maltosa con 61.62 ± 3.04 mg/g y 65.19 ± 5.33 mg/g, seguido de la maltotriosa con 20.76 ± 1.15 mg/g y 22.30 ± 2.06 mg/g y por último glucosa con 20.53 ± 1.14 mg/g y 17.12 ± 1.67 mg/g para los mostos elaborados TPB y TSPB, respectivamente. Durante el proceso de fermentación, estos azúcares se comportaron de manera diferente entre sí, pero similares entre los dos tratamientos. En la gráfica se muestra que la glucosa se consumió gradualmente después de 96 horas para la muestra TSPB y 120 horas para la muestra con panza blanca. Por otro lado, la maltosa se consumió un 90% para la muestra con panza blanca y un 85% para la muestra sin panza blanca dejando pequeñas cantidades de maltosa que permanecerán en la cerveza. En el caso de la maltotriosa el gráfico indica que aparentemente se consumió completamente después de 72 horas de fermentación, sin embargo, de acuerdo a investigaciones, sabemos que la maltotriosa no tiene la prioridad para ser catabolizada por la levadura, tiene una tasa de absorción más lenta y suelen quedar cantidades significativas en las cervezas terminadas. Estos resultados se deben a un traslape en el cromatograma del pico de la maltotriosa con el que se deduce es el pico de dextrinas que se encuentran

en mayor cantidad que la maltotriosa y, por lo tanto, no deja realizar una correcta lectura del área del pico de maltotriosa. A su vez, esta cantidad de dextrinas se puede explicar con un proceso deficiente de maceración, principalmente, en la actividad de beta amilasa, la cual, fue incapaz de degradar esas dextrinas que permanecerán en la cerveza terminada en azúcares más simples.

En la figura 11 se muestra el consumo de azúcares totales y el desarrollo de etanol a lo largo de los 7 días de fermentación donde se puede observar una relación inversamente proporcional, donde conforme disminuye la cantidad de azúcares, aumenta la cantidad de alcohol presente en la cerveza. Esto debido, claramente, a la acción de las levaduras que consumen los azúcares disponibles que pueden metabolizar y los convierten en alcohol.

Se espera que en la etapa final de la fermentación la producción de etanol llegue a un máximo y se mantenga constante debido al agotamiento de nutrientes y efectos tóxicos del etanol que provoquen la muerte de las levaduras, sin embargo, en la gráfica se observa que el etanol aún no alcanza un máximo y de igual manera no se han consumido el total de los azúcares, lo cual puede indicar que se necesite más tiempo para que finalice la fermentación.

Comparando los resultados obtenidos con la investigación de Mastanjevic, *et al*, 2018 donde realizó dos diferentes cervezas de trigo pero en una de ellas la contaminó con una multitoxina, se puede observar que de igual manera la maltotriosa fue el primer azúcar que se agotó (dejando fuera la glucosa, debido a que ellos no la cuantificaron), pero a diferencia de nosotros ellos finalizaron su fermentación primaria a los 6 días agotando prácticamente todos sus azúcares disponibles y nosotros después de 7 días de fermentación aún con una concentración aproximadamente 14 mg/g de maltosa que de acuerdo a la gráfica con tendencia a desaparecer con unos días más de fermentación.

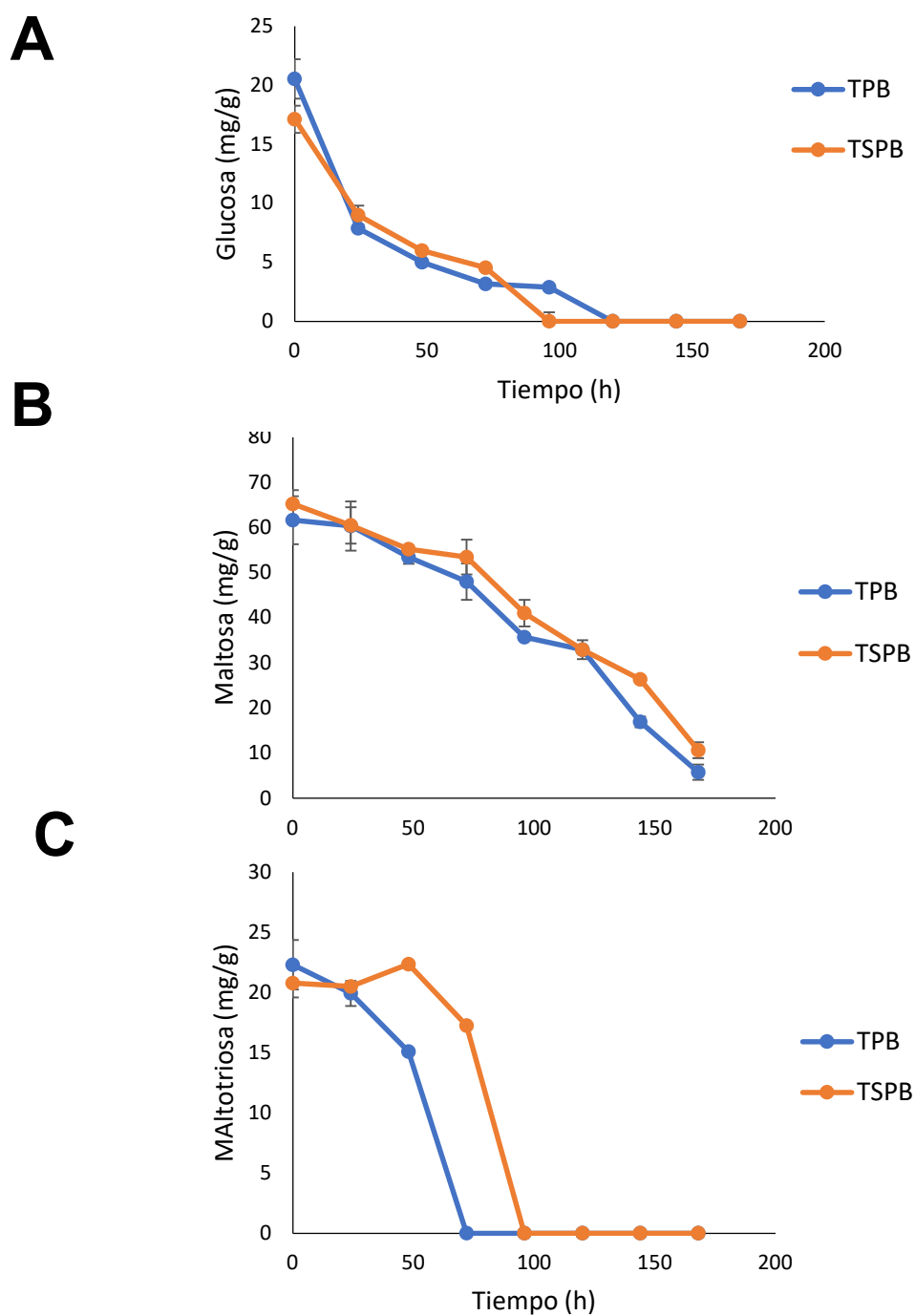


Figura 10. Consumos de glucosa (A), maltosa (B) y maltotriosa (C) durante 7 días de fermentación de los mostos elaborados con trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).

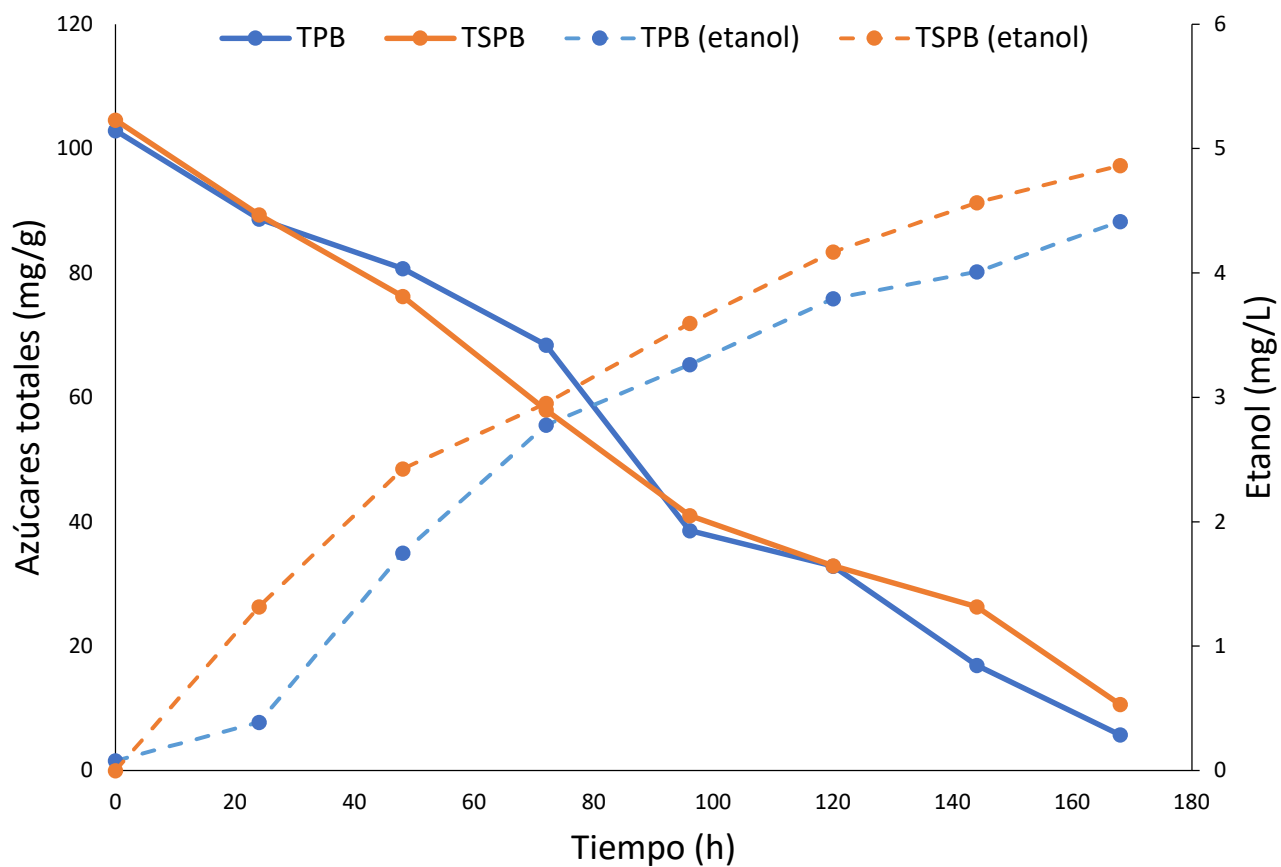


Figura 11. Cinéticas de consumo de azúcares totales y desarrollo de etanol durante 7 días de fermentación de los mostos elaborados con trigo con panza blanca (TPB) y trigo sin panza blanca (TSPB).

Análisis Sensorial

El análisis de los datos de las dos cervezas juzgadas por 87 jueces se muestra en la Figura 11. Desde la perspectiva de la apariencia de la cerveza, el valor de turbidez fue mayor para la muestra TSPB, como se esperaba. Esto refuerza y complementa los resultados de tener una menor cantidad de proteína en la muestra de TPB; precisamente por este desorden, hay menos turbidez. La intensidad de color en dos muestras fue muy similar sin diferencias significativas al igual que la retención de espuma.

El valor de amargor y acidez fue mayor en la muestra TSPB, y fue la muestra que presentó los valores más bajos de dulzor, aroma y sabor afrutado, a diferencia de la muestra TPB. Esto puede deberse a la presencia de algún tipo de ácido, y esto se correlaciona con las figuras 6 y 7, donde se observa que las muestras normales obtuvieron un menor valor de pH y un mayor porcentaje de etanol en la cerveza final, TPB también obtuvo el mayor valor en el retrogusto, que se refiere al sabor que queda en nuestro paladar después de degustar la cerveza.

La muestra de TPB fue la que pareció más equilibrada en cuanto a los atributos evaluados. Este equilibrio puede resultar en una mejor aceptabilidad de la cerveza para el consumidor; para la muestra TPB que tuvo 63% de preferencia y la muestra normal con 37% en aceptación del consumidor, influenciados principalmente por mayor acidez, amargor y percepción de alcohol. La variación en los resultados muestra que los jueces formaban parte de una población diferente y no consistente, ya que algunos de ellos calificaron las cervezas de manera muy diferente a los demás jueces.

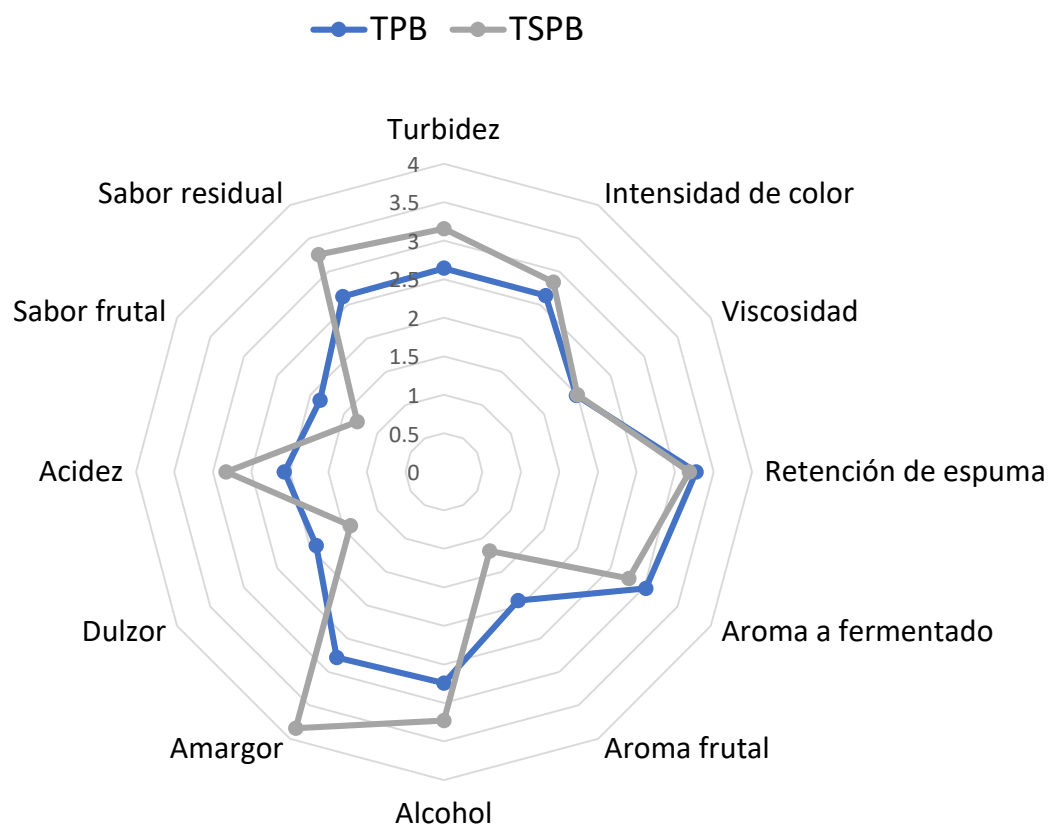


Figura 12. Perfiles de aroma, sabor y apariencia de las cervezas elaboradas con trigo con panza blanca (TPB), trigo sin panza blanca (TSPB).

CONCLUSIÓN

Se demostraron diferencias de las propiedades físicas y químicas en las muestras de granos con el desorden fisiológico panza blanca, principalmente en el contenido de proteína, con una menor densidad dentro del grano y un aumento porcentaje de almidón.

Es factible la producción de maltas con trigo cristalino, ya que se tuvo un buen desempeño en la formación y activación de las principales enzimas para la elaboración de cerveza e incluso tuvo una menor pérdida de materia seca en comparación a la cebada y el sorgo. La presencia de panza blanca no tuvo una influencia significativa en el proceso de malteado.

Es posible producir una cerveza tipo ale a partir de trigo cristalino con características químicas y organolépticas aceptables, incluso con la presencia del desorden fisiológico panza blanca, la cual presentó una mayor aceptabilidad a su contraparte. Los contenidos de aminoácidos libres, los valores de pH, color y rendimiento de fermentación fueron similares a valores reportados para mostos y cervezas de trigo. Razones por la cual, los granos de trigo cristalino con presencia de panza blanca pueden ser utilizados a la producción de bebidas alcohólicas con valor agregado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar esta investigación con diferentes proporciones de trigo con panza blanca y cebada para comparar que proporción presenta mejores rendimientos y características favorables en la producción de cerveza.

Con base a lo obtenido en los resultados de viscosidad, se recomienda llevar a cabo experimentación a nivel planta piloto con trigo cristalino sin maltear y observar las repercusiones en el proceso de elaboración de cerveza y determinar la cantidad que es posible utilizar como adjunto sin afectar el proceso.

Ya que se ha comprobado con esta y otras investigaciones el efecto la presencia del desorden fisiológico panza blanca en el contenido de proteína, profundizar en el tema y determinar a nivel molecular como interactúa para llevar a cabo esa disminución

Se recomienda experimentar con otros estilos de cerveza, especialmente de trigo, donde se utilicen diferentes levaduras que favorezcan y acentúen las cualidades organolépticas de este grano, estilos como weissbier o witbier, incluso cervezas lámbicas.

Se recomienda comparar distintas variedades de trigo cristalino de la región con diferentes características y mismas proporciones de panza blanca y evaluar la posibilidad de en un futuro, si existen resultados favorables, inducir la presencia de panza blanca en trigos cristalinos para su uso en la elaboración de cerveza.

BIBLIOGRAFÍA

Badui, S. (2013). *Química de los alimentos* (5a. ed). México: Pearson.

Ammiraju, J. S. S., Dholakia, B. B., Jawdekar, G., Santra, D. K., Gupta, V. S., Roder, M. S., ... Ranjekar, P. K. (2002). Inheritance and identification of DNA markers associated with yellow berry tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 123(2), 229–233.

Baker, M. J., & Buttery, E. A. (1998). *About Wiley Online Library Help & Support*. 12(4), 10–12.

Bamforth, C. W. (2001). pH in brewing: an overview. *Technical quarterly-Master Brewers Association of the Americas*, 38(1), 1-9.

Barth, R. (2013). The chemistry of beer. In *ACS Symposium Series* (Vol. 1130).

Berning, J., Costanigro, M., & McCullough, M. (2017). Beer Consumption and Trade in a Era of Economic Growth and Globalization. *Choices*, 32(3), 1–6.

Berning, J., McCullough, M. P., Garavaglia, C., Toro-gonzalez, D., Berning, J., & Costanigro, M. (2017). *Theme Overview : Global Craft Beer Renaissance Articles in this Theme : 32(3)*.

Bettenhausen, H. M., Barr, L., Broeckling, C. D., Chaparro, J. M., Holbrook, C., Sedin, D., & Heuberger, A. L. (2018). Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. *Food Research International*, 113(March), 487–504.

- Bianco, A., Fancello, F., Balmas, V., Dettori, M., Motroni, A., Zara, G., & Budroni, M. (2019). Microbial communities and malt quality of durum wheat used in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(2), 222-229.
- Biesiekierski, J. R. (2017). What is gluten? *Journal of Gastroenterology and Hepatology (Australia)*, 32, 78–81. <https://doi.org/10.1111/jgh.13703>
- Bnejdi, F., & El Gazzah, M. (2008). Inheritance of resistance to yellowberry in durum wheat. *Euphytica*, 163(2), 225-230.
- Bokulich, N. A., & Bamforth, C. W. (2013a). The Microbiology of Malting and Brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(2), 157–172.
- Bokulich, N. A., & Bamforth, C. W. (2013b). The Microbiology of Malting and Brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(2), 157–172.
- Briggs, D., Hough, J., Stevens, R. y Young, T. 1981. *Malting and Brewing Science: Malt and sweet wort*. Segunda edición. Kluwer Academic. Inglaterra. 914 p.
- Briggs, D., Boulton, C., Brookes, P. & Stevens, R. (2004). *Brewing science and practice*. Food science and technology.
- Cadenas, R., Caballero, I., Nimubona, D., & Blanco, C. A. (2021). Brewing with starchy adjuncts: Its influence on the sensory and nutritional properties of beer. *Foods*, 10(8), 1726.
- Colen, L., & Swinnen, J. (2016). *Economic Growth, Globalisation and Beer Consumption - Colen - 2016 - Journal of Agricultural Economi.pdf* (pp. 186–207). pp. 186–207.
- Cornaggia, C., Evans, D. E., Draga, A., Mangan, D., & McCleary, B. V. (2019). Prediction of potential malt extract and beer filterability using conventional and novel malt assays. *Journal of the Institute of Brewing*, (October 2018).
- Cozzolino, D., Roumeliotis, S., & Eglinton, J. (2013). Relationships between starch pasting properties, free fatty acids and amylose content in barley. *Food Research International*, 51(2), 444-449.
- De Souza, P. M., & e Magalhães, P. de O. (2010). Application of microbial α -amylase in industry - a review. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(4), 850–861.
- Dexter, J. E., Marchylo, B. A., MacGregor, A. W., and Tkachuk, R. 1989. The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *J. Cereal Sci.* 10:19-32.
- El-Khayat, G. H., Samaan, J., & Brennan, C. S. (2003). Evaluation of vitreous and

starchy Syrian durum (*Triticum durum*) wheat grains: the effect of amylose content on starch characteristics and flour pasting properties. *Starch-Stärke*, 55(8), 358-365.

Esslinger, H. M. (Ed.). (2009). *Handbook of brewing: processes, technology, markets*. John Wiley & Sons.

Faltermaier, A., Waters, D., Becker, T., Arendt, E., & Gastl, M. (2014). Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal - a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(1), 1–15.

Fox, G.P., Panozzo, J.F., Li, C.D., Lance, R.C.M., Inkerman, P.A. and Henry, R.J. (2003). Molecular basis of barley quality. *Aus. J. Agri. Res.*, 54: 1081-1101.

Fox, G. (2017). Starch in Brewing Applications. In *Starch in Food: Structure, Function and Applications: Second Edition*.

Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D., & Nam, S. (2017). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 78, 2–9.

Garza Lagler, María Cristina, & Taddei Bringas, Cristina. (2016). Definición del mercado de trigo cristalino en el valle del Yaqui, México. *Economía: teoría y práctica*, (44), 193-215.

Glover B (2001) *The World Encyclopedia of Beer*. Lorenz Books, Anness Publishing Limited, New York.

Gomaa, A. M. (2018). Application of enzymes in brewing. *J. Nutr. Food Sci. Forecast*, 1(5).

Gómez-Corona, C., Escalona-Buendía, H. B., García, M., Chollet, S., & Valentin, D. (2016). Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico. *Appetite*, 96, 358–367.

Guido, L. F. (2019). Brewing and Craft Beer. *Beverages*, 5(3), 51.

Guzmán-Ortiz, F. A., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Mora-Escobedo, R., Rojas-León, A., Rodríguez-Marín, M. L., ... & Román-Gutiérrez, A. D. (2019). Enzyme activity during germination of different cereals: A review. *Food Reviews International*, 35(3), 177-200.

Hardwick, W. 1995. *Handbook of Brewing*. Marcel Dekker, Inc. EUA. 714 p.

Hieronymus, S. (2010). *Brewing with Wheat: The 'wit' and 'weizen' of World Wheat Beer Styles*. Brewers Publications.

INIFAP (2019) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Programa de Desarrollo del INIFAP 2018-2030, 96-97.

Jentsch M (2007) Top-fermented beer specialities in focus. *Brauwelt Int* 5: 332–334.

Juárez, Z. N., Bárcenas-Pozos, M. E., & Hernández, L. R. (2014). El grano de trigo : características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingenieria de Alimentos*, 8(1), 79–92.

Kihara, H. (2013). *Wheat studies-retrospect and prospects*. Elsevier.

Kumar, D., Kumar, V., Verma, R. P. S., Kharub, A. S., & Sharma, I. (2013). *Quality parameter requirement and standards for malt barley-a review*. *Agricultural Reviews*, 34(4), 313-317.

Kunze, W., & Ros. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros*.

Langenaeken, N. A., De Schepper, C. F., De Schutter, D. P., & Courtin, C. M. (2020). Carbohydrate content and structure during malting and brewing: A mass balance study. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(3), 253-262.

Lekkas, C., Stewart, G. G., Hill, A., Taidi, B., & Hodgson, J. (2005). The importance of free amino nitrogen in wort and beer. *Technical Quarterly-Master Brewers Association of the Americas*, 42(2), 113.

Li, H., Gidley, M. J., & Dhital, S. (2019). High-Amylose Starches to Bridge the “Fiber Gap”: Development, Structure, and Nutritional Functionality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 362–379.

López, A., García, M. y Quintero, R. 2002. *Biotecnología alimentaria*. Quinta edición. Limusa. México. 636 p.

López-Ahumada, G.A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P.I., Bello-Pérez, L.A., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Garzón-Tiznado, J.A. and Gomez-Aldapa, C.A. (2010), Physicochemical characteristics of starch from bread wheat (*Triticum aestivum*) with “yellow berry”. *Starch/Stärke*, 62: 517-523.

Márquez, A. Z., Medina, J. F. P., Ruvalcaba, L. P., Tafoya, F. A., Juárez, M. G. Y., Alcaraz, T. de J. V., & López, R. M. (2015). Greenness, Plant Height and Yellow Berry of the Wheat Grain in Response to Paclobutrazol., 02(06), 1–7.

Mastanjević, K., Šarkanj, B., Krska, R., Sulyok, M., Warth, B., Mastanjević, K., ... & Krstanović, V. (2018). From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin

- screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Food Chemistry*, 254, 115-121.
- Mascia, I., Fadda, C., Dostálek, P., Olšovská, J., & Del Caro, A. (2014). Preliminary characterization of an Italian craft durum wheat beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 495-499.
- Moshatati, A., & Gharineh, M. H. (2012). Effect of grain weight on germination and seed vigor of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(8), 458-460.
- Mosher, M., & Trantham, K. (2017). *Brewing Science: A Multidisciplinary Approach*. In *Brewing Science: A Multidisciplinary Approach*.
- O'Connor-Cox, E. S., & Ingledew, W. M. (1989). Wort nitrogenous sources—Their use by brewing yeasts: A review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 47(4), 102-108.
- Ogbonna, A. C. (2011). Current developments in malting and brewing trials with sorghum in Nigeria: A review. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(3), 394-400.
- O'Rourke, T. (2002). The role of pH in brewing. *Brewer International*, 2(8), 21-3.
- Owuama, C. 1997. Sorghum: a cereal with lager beer brewing potential. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 13:253-260.
- Öztürk, S., & Mutlu, S. (2019). Physicochemical Properties, Modifications, and Applications of Resistant Starches. In *Starches for Food Application*.
- Padilla-Torres, C. V., Heredia-Olea, E., Serna-Saldívar, S. O., & López-Ahumada, G. (2022). Potential of bread wheat (*Triticum aestivum*) affected by the yellow-berry physiological disorder for the production of brewing malts. *Journal of Cereal Science*, 103499.
- Palmer, J. J. (1999). *Como hacer Cerveza*. 1–207.
- Peña Bautista, R.J., Perez Herrera, P., Villaseñor Mir. E., Gomez Valdes, M. L. (2008). *Calidad de cosecha de trigo Mexico*.
- Picariello, G., Mamone, G., Cutignano, A., Fontana, A., Zurlo, L., Addeo, F., & Ferranti, P. (2015). Proteomics, peptidomics, and immunogenic potential of wheat beer (Weissbier). *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(13), 3579-3586.
- Ramirez-Wong, B., Rodriguez-Felix, F., Torres-Chavez, P. I., Medina-Rodriguez, C. L., Matus-Barba, E. A., & Ledesma-Osuna, A. I. (2014). Effects of Nitrogen and irrigation on gluten protein composition and their relationship to “Yellow Berry” disorder in wheat (*Triticum aestivum*). *Pak. J. Bot*, 46(5), 1797-1804.

- SAGARPA. (2017). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Trigo grano cristalino y harinero. *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*, 28.
- Sammartino, M. (2015). Enzymes in brewing. *Mbaa Tq*, 52(3), 156-164.
- Samson, M. F., Mabilie, F., Chéret, R., Abécassis, J., & Morel, M. H. (2005). Mechanical and physicochemical characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm. *Cereal Chemistry*, 82(1), 81-87.
- Schmedding, D. J., van Gestel, M. J. M. C., Whitehurst, R. J., & Law, B. A. (2002). Enzymes in brewing. *Enzymes in food technology*. CRC Press, Boca Raton, USA, 57-75.
- Serna-Saldívar, S. 2010. Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes. First Edition. CRC Press. México. 747 p.
- Shewry, P. R. (2009). Darwin Review Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537–1553.
- Sieber, A.-N., Würschum, T., & Longin, C. F. H. (2015). Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 61, 71–77.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., & Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 38-58.
- Solís Moya, E., & Díaz de León Tobías, J. G. (2001). Effect of controllable production factors on grain yield and yellow belly in durum wheat. *Terra*, 19(4), 375–383.
- Šramková, Z., Gregová, E., & Šturdík, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 115–138.
- Tang, M. C., & Copeland, L. (2007). Analysis of complexes between lipids and wheat starch. *Carbohydrate Polymers*, 67(1), 80-85.
- Troccoli, G.M. Borrelli; P. De Vita; C. Fares; N. Di Fonzo (2000). Mini Review: Durum Wheat Quality: A Multidisciplinary Concept. , 32(2), 99–113.
- Urias-Peraldí, M., Gutiérrez-Uribe, J. A., Preciado-Ortiz, R. E., Cruz-Morales, A. S., Serna-Saldívar, S. O., & García-Lara, S. (2013). Nutritional profiles of improved blue maize (*Zea mays*) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Research*, 141, 69-76.
- USDA-ARS (2014) United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service. National nutrient database for standard reference: release 27.

- U. Nithya; V. Chelladurai; D.S. Jayas; N.D.G. White (2011). Safe storage guidelines for durum wheat. , 47(4), 328–333.
- Vamadevan, V., & Bertoft, E. (2015). Structure-function relationships of starch components. *Starch/Staerke*, 67(1–2), 55–68.
- Wenwen, Y., Tao, K., Gidley, M. J., Fox, G. P., & Gilbert, R. G. (2019). Molecular brewing: Molecular structural effects involved in barley malting and mashing. *Carbohydrate polymers*, 206, 583-592.
- Yousif, A. M., & Evans, D. E. (2020). Changes in malt quality during production in two commercial malt houses. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(3), 233-252.
- Ziegler, P. (1999). *Cereal Beta-Amylases*. 29, 195–204.