



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**Propiedades tecnológicas y nutricionales de harina de
bagazo de malta y su impacto en galletas.**

TESIS DE LICENCIATURA

QUE PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO EN

INGENÍERIA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

GABRIELA RIOS HERRERA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. AURORA QUINTERO LIRA

CO-DIRECTOR: DR. JAVIER PILONI MARTINI



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo., a 29 de Mayo de 2026

Asunto: Autorización de impresión

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

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, **Gabriela Rios Herrera**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Propiedades tecnológicas y nutricionales de harina de bagazo de malta y su impacto en galletas"**, que después de revisarlo en reunión de comité de tesis, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del comité de tesis:

DIRECTOR
CODIRECTOR
ASESOR

DRA. AURORA QUINTERO LIRA
DR. JAVIER PILONI MARTINI
DR. CÉSAR URIEL LÓPEZ PALESTINA

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dra. Beatriz del Carmen Coutiño Laguna
Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería en
Alimentos



"Amor, Orden y Progreso"



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021
ricardo_navarro@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimiento

Deseo agradecer primer lugar a mis padres, por apoyarme en este camino y creer en mí. A mis hermanos por darme la confianza de seguir estudiando. A mis amigas Blanca, Brissa y Dany que siempre estuvieron dando ánimos y brindarme su apoyo incondicional. A mis asesores de tesis la Doctora Aurora Quintero Lira y al Doctor Javier Piloni Martini por apoyarme y guiarme en este proyecto.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Marco teórico	3
2.1. Cerveza	3
2.2. Proceso de elaboración de la cerveza	3
2.2.1. Malteado	3
2.2.2. Molienda	4
2.2.3. Maceración	4
2.2.4. Filtración	4
2.2.5. Cocción del mosto.....	4
2.2.6. Clarificación del mosto.....	5
2.2.7. Fermentación	5
2.2.8. Clarificación y filtración.....	5
2.2.9. Carbonatación y envasado.....	6
2.3. Tipos de cerveza	6
2.4. Subproductos del proceso cervecero.....	6
2.5. Aprovechamiento de subproductos en la industria alimentaria	7
2.5.1. Beneficios ambientales y económicos	7
2.6. Generalidades del bagazo de malta cervecera	8
2.6.1. Definición y origen del bagazo de malta.....	9
2.6.2. Composición del bagazo de malta cervecera	9
2.6.3. Propiedades nutricionales del bagazo de malta cervecera	10
2.7. Galletas.....	11
2.7.1. Definición	11

2.7.2.	Clasificación de galletas	11
2.7.3.	Ingredientes básicos en la formulación de galletas.....	13
2.8.	Harina utilizada en la elaboración de galletas	14
2.8.1.	Tipos de harina y su impacto en galletas.....	14
2.8.2.	Harina de trigo en las galletas.....	14
2.9.	Efectos de la fibra y otros ingredientes funcionales	15
2.9.1.	Fibra alimentaria en galletas.....	15
2.9.2.	Otros ingredientes funcionales.....	15
3.	Planteamiento del Problema.....	16
4.	Justificación	17
5.	Objetivo General.....	18
5.1.	Objetivos específicos.....	18
6.	Hipótesis	19
7.	Materiales y métodos.....	20
7.1.	Obtención del bagazo cervecero.....	20
7.1.1.	Molienda y maceración	20
7.1.2.	Cocción.....	20
7.1.3.	Fermentación	20
7.2.	Elaboración de harina de bagazo de malta	21
7.2.1.	Secado de bagazo de malta cervecera.....	21
7.2.2.	Molienda	21
7.3.	Rendimiento de harina.....	21
7.4.	Determinación de compuestos fitoquímicos	21
7.4.1.	Alcaloides	22

7.4.2.	Insaturaciones.....	22
7.4.3.	Oxidrilos fenólicos.....	22
7.4.4.	Sesquiterpenlactonas.....	22
7.4.5.	Flavonoides	22
7.4.6.	Saponinas	22
7.4.7.	Cumarinas	23
7.4.8.	Esteroles.....	23
7.4.9.	Taninos.....	23
7.5.	Índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento (IAB – ISA – PRH)	23
7.6.	Capacidad de absorción de agua.....	24
7.7.	Capacidad de retención de agua (CRA)	25
7.8.	Elaboración de galletas	25
7.9.	Análisis fisicoquímico	26
7.9.1.	Determinación de Color	26
7.9.2.	Determinación pH	26
7.9.3.	Determinación de Aw de las galletas.....	27
7.9.4.	Determinación de acidez titulable	27
7.10.	Análisis químico-proximal	28
7.10.1.	Determinación de humedad	28
7.10.2.	Determinación de cenizas totales	28
7.10.3.	Determinación de grasa	29
7.10.4.	Determinación de fibra cruda	29
7.10.5.	Determinación de proteína	30

7.11. Análisis de perfil de textura	31
7.12. Análisis microbiológico.....	31
7.13. Análisis sensorial	32
7.14. Análisis estadístico de resultados	32
8. Resultados y discusión.....	32
8.1. Rendimiento de la harina de bagazo de malta cervecera.....	32
8.2. Compuestos fitoquímicos presentes en la harina de bagazo de malta	33
8.3. Propiedades funcionales de la harina de bagazo cervecero.....	34
8.4. Propiedades fisicoquímicas de la harina de bagazo de malta cervecera	36
8.5. Composición químico-proximal de la harina del bagazo de malta cervecera	37
8.6. Propiedades fisicoquímicas de galletas adicionadas con harina de BMC.....	38
8.7. Composición químico-proximal de galletas adicionadas con harina de BMC	40
8.8. Textura de las galletas.....	43
8.9. Análisis microbiológico de las galletas con harina de Bagazo de malta cervecera	45
8.10. Análisis sensorial	46
9. Conclusiones.....	48
10. Bibliografía	49
Anexos.....	62
Anexo I. Formato aplicado para el análisis sensorial de nivel de agrado	62
Anexo II Preparación de medios de cultivo para el análisis microbiológico.	63

Tabla 1. Clasificación de galletas de acuerdo a su preparación, forma y textura	12
Tabla 2. Porcentaje de sustitución de harina de BMC por harina de trigo	26
Tabla 3. Resultados del tamiz fitoquímico de la harina de BCM	34
Tabla 4. Propiedades funcionales de la harina	35
Tabla 5. Características químico-proximal y fisicoquímicas de la harina de BMC.....	38
Tabla 6. Características de color de galletas con adición de harina de BMC	40
Tabla 7. Características químico-proximal de las galletas con distintas concentraciones de harina de BMC.....	41
Tabla 8. Características fisicoquímicas de galletas con diferentes concentraciones de harina de BMC.....	42
Tabla 9. Características de textura de las diferentes galletas con harina de BMC.....	44
Tabla 10. Características microbiológicas de las galletas con harina de BMC	46
Tabla 11. Promedios del nivel de agrado para los atributos sensoriales de las galletas con diferentes porcentajes de harina de bagazo de malta cervecera	47

Resumen

El bagazo de malta cervecera (BMC) es el principal subproducto generado por la industria cervecera y se caracteriza por su alto contenido de fibra y compuestos nutricionales de interés. Sin embargo, gran parte de este material es desechado, lo que representa un área de oportunidad para su valorización en el desarrollo de alimentos funcionales. En este contexto, la presente investigación evaluó la incorporación de harina de bagazo de malta cervecera (BMC) en la formulación de galletas, analizando su impacto en las propiedades químicas, fisicoquímicas, microbiológicas, texturales y sensoriales del producto final. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de BMC en concentraciones de 5%, 10% y 10%, sobre la calidad de galletas, con el fin de establecer el nivel óptimo de incorporación que permita mejorar el perfil nutricional sin comprometer la aceptabilidad del producto. Para ello, el bagazo fue previamente deshidratado y molido para obtener la harina. Se elaboraron cuatro tratamientos: un control (T0:0%) y tres formulaciones con sustitución parcial de harina de trigo (T1:5%, T2:10% y T3:15%). A la harina de BMC se le realizó análisis químico proximal para determinar humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos. En las galletas se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, acidez y actividad de agua), color (L^* , a^* , b^*), análisis de textura (dureza y trabajo de fractura) y calidad microbiológica conforme a la NOM-247-SSA1-2008. Asimismo, se realizó un análisis sensorial mediante una prueba hedónica para evaluar color, sabor, textura y aceptabilidad general. Los resultados mostraron que la harina de bagazo de malta cervecera (BMC) presentó un contenido elevado de fibra en comparación con la harina de trigo convencional, destacando su potencial como ingrediente funcional. En las galletas, el pH se mantuvo en un rango ligeramente ácido (5.98–6.18) y la actividad de agua no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo que favorece la estabilidad del producto. El análisis de color indicó tonalidades marrón-amarillentas características del bagazo, con disminución en la luminosidad conforme aumentó la sustitución. En textura, el tratamiento control presentó la mayor dureza (43.80 N), mientras que los tratamientos con 5 % y 10 % mostraron una reducción significativa, indicando una estructura más quebradiza. No obstante, al T3 tuvo un incremento parcial en la dureza, asociado a un efecto estructural de la fibra en mayor concentración. Sensorialmente, los tratamientos con T1 y T2

presentaron mayor aceptación en comparación con el T3 el cual mostró ligera disminución en preferencia. La incorporación de harina de bagazo de malta cervecera hasta un 10% en la elaboración de galletas representa una alternativa tecnológica viable, segura y sensorialmente aceptable, que permite incrementar el contenido de fibra y promover el aprovechamiento sostenible de subproductos de la industria cervecera.

Palabras clave: Cerveza, Bagazo de malta Cervecer, harina, galletas enriquecidas y fibra dietética.

Abstrac

Brewer's malt bagasse (BMB) is the main by-product generated by the brewing industry and is characterized by its high fiber content and nutritional compounds of interest. However, a large proportion of this material is discarded, representing an opportunity for its valorization in the development of functional foods. In this context, the present study evaluated the incorporation of brewer's malt bagasse flour (BMC) into cookie formulations, analyzing its impact on the chemical, physicochemical, microbiological, textural, and sensory properties of the final product. The objective of this study was to determine the effect of partially substituting wheat flour with BMBF at concentrations of 5%, 10%, and 15% on cookie quality, in order to establish the optimal incorporation level capable of improving the nutritional profile without compromising product acceptability. For this purpose, the bagasse was previously dehydrated and milled to obtain the flour. Four treatments were prepared: a control (T0: 0%) and three formulations with partial wheat flour substitution (T1: 5%, T2: 10%, and T3: 15%). Proximate chemical analysis of BMBF was conducted to determine moisture, protein, fat, ash, fiber, and carbohydrate content. Cookies were evaluated for physicochemical parameters (pH, acidity, and water activity), color (L^* , a^* , b^*), texture analysis (hardness and fracture work), and microbiological quality according to NOM-247-SSA1-2008. Additionally, sensory analysis was performed using a hedonic test to evaluate color, flavor, texture, and overall acceptability. The results showed that brewer's malt bagasse flour exhibited a higher fiber content compared to conventional wheat flour, highlighting its potential as a functional ingredient. In cookies, pH remained within a slightly acidic range (5.98–6.18), and water activity showed no significant differences among treatments, favoring product stability. Color analysis revealed characteristic brownish-yellow tones associated with the bagasse, with decreased luminosity as substitution levels increased. Regarding texture, the control treatment showed the highest hardness value (43.80 N), whereas treatments containing 5% and 10% BMBF exhibited a significant reduction, indicating a more brittle structure. However, T3 showed a partial increase in hardness, associated with the structural effect of fiber at higher concentrations. Sensory evaluation indicated that T1 and T2 achieved greater acceptance compared to T3, which showed a slight decrease in preference. The incorporation of brewer's malt bagasse flour up to 10% in cookie production represents a viable, safe, and sensorially

acceptable technological alternative that increases fiber content while promoting the sustainable utilization of brewing industry by-products.

Keywords: Beer, brewer's malt bagasse, flour, enriched cookies and dietary fiber

1. Introducción

La cerveza es una bebida natural que se produce mediante la fermentación alcohólica de un extracto acuoso de cebada malteada (Raimilla et al., 2023). Esta tiene sus orígenes en Babilonia a fines del año 4,000 a.C. y se fue convirtiendo en una bebida esencial en la dieta de esa ciudad, así como de los egipcios. A través de los siglos, debido a su gran importancia, no fue sorprendente que la demanda de cerveza aumentara, lo que llevó a que su producción se convirtiera en una industria capaz de satisfacer tanto el mercado nacional como internacional. Con la llegada de la Revolución Industrial aumento la eficiencia y el mercado siguiendo así la industria cervecera (Martínez, 2016). La fabricación de cerveza se puede clasificar en dos tipos: industrial y artesanal, los cuales tienen como base en su elaboración cuatro componentes principales: malta de cebada, agua, levadura y lúpulo (Raimilla et al., 2023) sin embargo, se diferencian en la cantidad de insumos empleados, el tamaño de la maquinaria, así como en el número de etapas y los ingredientes adicionales, ya que cada uno está dirigido a un mercado distinto. La producción industrial se distingue por fabricarse a gran escala a partir de una receta estándar, utilizando ingredientes y procesos económicamente rentables que permiten producirla en menos tiempo. En contraste, la cerveza artesanal se elabora con métodos clásicos, que pueden ser tanto tradicionales como innovadoras, y generalmente no se somete a procesos de filtración ni pasteurización (Martínez, 2016). A lo largo del proceso de fabricación de cerveza, se generan diversos residuos, siendo el bagazo de malta cervecera (BMC) el más abundante. Este residuo es obtenido tanto en cervecerías industriales como artesanales y tiene potencial para ser utilizado como alimento para ganado, especialmente rumiantes (Santacruz et al., 2023). No obstante, su proceso de obtención genera algunos impactos ambientales entre los que destacan un alto consumo de energía y materia prima, así como una considerable generación de aguas residuales (Santacruz et al., 2023). Por ello, se busca desarrollar un subproducto viable para el consumo humano, utilizando el bagazo de malta cervecera como base para la elaboración de galletas ya que de acuerdo con la Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología las galletas son alimentos con alto valor energético, elaborados principalmente con harina, grasas, azúcares y otros ingredientes aromáticos. Su alto contenido energético proviene principalmente de la harina, el azúcar y grasa. Debido a su bajo costo de producción y gran demanda, las galletas son

una opción accesible para satisfacer el hambre, proporcionando energía en momentos específicos del día, como en el desayuno, la merienda o colaciones. Además de ser fáciles de transportar y consumir en cualquier lugar, las galletas se han convertido en una de las opciones más populares, siendo un alimento de consumo masivo por su conveniencia y practicidad (Bazán et al., 2015).

2. Marco teórico

2.1. Cerveza

De acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017 la cerveza se define como una bebida alcohólica fermentada, que se elabora a partir de malta, lúpulo, levadura y agua potable. Esta bebida es caracterizada por su sabor amargo y puede elaborarse a partir de granos de cebada u otros como el trigo, arroz y maíz, lo cuales se fermentan en agua adicionando la levadura (López, 2022). Dentro de sus especificaciones se menciona que debe contar con un pH en un rango de 2.5 a 5, así como alcohol a 20°C que varía entre el 2% y el 20% en volumen.

2.2. Proceso de elaboración de la cerveza

El proceso inicia a partir de la malta de la cebada, la cual se somete a molienda y maceración a una temperatura de entre 65°C y 70°C, lo que causa que las enzimas como la α -amilasa y β -amilasa se activen y así pueda convertir el almidón en azúcares simples. El mosto se somete a ebullición y se añade el lúpulo, el cual aporta amargor, aroma, actúa como conservante y ayuda en la formación de espuma; posterior a la ebullición se inocula con la levadura (normalmente del género *Saccharomyces*), para fermentar los azúcares en etanol y dióxido de carbono lo que genera el grado alcohólico y la carbonatación de la bebida (Raimilla et al., 2023). Durante la fermentación se producen compuestos como esteroides y alcoholes superiores, los cuales son responsables del sabor y aroma en el producto final que es la cerveza (Almaguer et al., 2014).

2.2.1. Malteado

La producción de la cerveza da inicio con el malteado de los cereales (principalmente cebada). Dentro de este proceso se incluye las etapas de remojo, germinación, secado y tostado. Este proceso activa enzimas relevantes como amilasas, peptidasas y β -glucanasas (Schinca, 2023). El proceso comienza con el remojo de los granos para estimular la germinación. Durante esta fase, las enzimas degradan parcialmente las reservas del endospermo, como almidón y proteínas. Cuando se alcanza el punto deseado de germinación esta se detiene mediante secado con aire caliente, estabilizando el grano y conservando su contenido enzimático (Farzaneh et al., 2017).

2.2.2. Molienda

La malta se muele de forma mecánica en un molino con el fin de romper el grano y exponiendo los gránulos de almidón, así como las proteínas del endospermo (Galvis et al., 2015). Este paso es importante ya que permite que las enzimas de la malta actúen de manera efectiva durante la maceración, facilitando la conversión de almidón en azúcares fermentables (Raimilla et al., 2023).

2.2.3. Maceración

Durante el proceso de maceración se busca obtener la mayor cantidad de azúcares solubles, para ello existen diversas enzimas que actúan de manera específica según la temperatura. Las enzimas proteolíticas se activan entre 45-65°C, estas descomponen proteínas en aminoácidos que sirven como nutrientes para la levadura y mejoran aspectos como la espuma y la claridad de la cerveza (Ledley et al., 2023). Por otro lado, las enzimas diastásicas, especialmente la α -amilasa y la β -amilasa, transforman los almidones en azúcares fermentables y dextrinas. La α -amilasa, se activa entre 65-67°C, genera dextrinas que aportan cuerpo y textura a la cerveza, a este proceso se le llama dextrinización, mientras que en la sacarificación β -amilasa, se activa entre 52-62°C, aquí se producen azúcares fermentables como glucosa y maltosa (Reyna, 2020).

2.2.4. Filtración

La malta sometida al proceso de maceración es bombeada a un tanque de filtración, donde el mosto se separa de los componentes sólidos. De esta forma, se produce el primer subproducto industrial en la fabricación de cerveza: el bagazo de malta cervecera. Este residuo se compone por la cascarilla de la malta, agua, parte de los azúcares solubles y materia insoluble. (Raimilla et al., 2023).

2.2.5. Cocción del mosto

Durante esta etapa se hierve el mosto entre 30 y 60 minutos. Se añade el lúpulo para dar aroma y se agrega en los últimos minutos, ya que sus compuestos aromáticos son volátiles y se extraen mejor con tiempos cortos de ebullición, seguidos de un breve reposo para conservar el aroma en la cerveza final. El hervor cumple funciones esenciales en el proceso: favorece la isomerización de los α -ácidos del lúpulo, lo que permite extraer el amargor característico, y contribuye a la

coagulación y precipitación de proteínas no deseadas, mejorando la claridad, la fermentación y el sabor del mosto (Reyna, 2020).

2.2.6. Clarificación del mosto

El proceso de separación del 'Trub', un complejo de proteínas y polifenoles, se realiza mediante un tanque Whirlpool. Gracias a su diseño poco profundo, este equipo facilita la sedimentación de proteínas y lúpulo hacia el fondo, en concordancia con la ley de Stokes. Durante este tiempo, el mosto pierde aproximadamente un grado Celsius debido a la evaporación y radiación de calor (Stachnik et al., 2020). Posteriormente, el mosto es enfriado eficientemente mediante un intercambiador de calor de placas y marcos. Para evitar riesgos de contaminación, el tiempo de permanencia en el tanque se mantiene al mínimo necesario para lograr una adecuada claridad del mosto (Herrero, 2015)

2.2.7. Fermentación

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico, cualquier residuo de oxígeno presente en el mosto es expulsado mediante las burbujas del dióxido de carbono que genera la levadura durante el proceso (Garba, 2025). Durante esta fase la levadura se reproduce hasta alcanzar una población óptima la cual transforma los carbohidratos presentes en el mosto produciendo etanol y dióxido de carbono. Durante la fermentación se generan subproductos como compuestos carbonílicos, alcoholes superiores, ésteres, ácidos orgánicos y compuestos azufrados, los cuales determinan el perfil de sabor y afectan la calidad final de la cerveza (Iorizzo et al., 2021). La mayor parte de la levadura permanece en suspensión aproximadamente 3 a 7 días, en los cuales comienza la floculación y sedimentación. En la floculación de la fermentación, precipitan las células de la levadura y forman sedimentos, los cuales se cosechan quitando lo exceso de levadura y facilitar el proceso de clarificación y filtrado (Reyna, 2020).

2.2.8. Clarificación y filtración

De acuerdo a la concentración de levadura y otros sólidos en suspensión, los cuales deben ajustarse a los requisitos establecidos para el producto final, se aplicarán diferentes procedimientos: en cervezas no filtradas únicamente se lleva a cabo el proceso de clarificación mediante centrifugado; en cambio, en cervezas filtradas, a esa etapa se suma un proceso

adicional de filtración. En ambos casos, al final del tratamiento, la cerveza alcanza una estabilización tanto biológica como coloidal (Raimilla et al., 2023).

2.2.9. Carbonatación y envasado

En los casos en que el contenido de dióxido de carbono de la cerveza se encuentra por debajo del valor de referencia establecido para el producto terminado, se realiza un proceso de carbonatación forzada mediante inyección de CO₂ en un equipo auxiliar denominado *carboblender*. Una vez alcanzado el nivel de carbonatación requerido, el producto es transferido a un tanque de almacenamiento, desde el cual se dirige a las líneas de envasado. En la actualidad, dichas líneas se encuentran diseñadas principalmente para el llenado en botellas de vidrio, latas de aluminio y barriles de plástico (Raimilla et al., 2023; Reyna, 2020).

2.3. Tipos de cerveza

La diversidad de cervezas disponibles en el mercado se debe a la amplia variedad de parámetros que pueden ajustarse de manera controlada durante su elaboración. Entre estos se incluyen la temperatura en las etapas de maceración y fermentación, el tipo y grado de tostado de la malta, las variedades de lúpulo utilizadas y las cepas de levadura seleccionadas, factores que en conjunto determinan perfiles sensoriales diferentes (Castro, 2022). De forma general, las cervezas se clasifican en dos categorías principales: fermentación alta y fermentación baja, conocidas respectivamente como *Ale* y *Lager*. Esta clasificación se basa en el tipo de levadura utilizada y en su comportamiento durante la fermentación. En la fermentación alta, característica de las cervezas tipo Ale, se emplea *Saccharomyces cerevisiae*, la cual tiende a concentrarse en la parte superior del fermentador. En cambio, la fermentación baja, propia de las Lager, utiliza *Saccharomyces pastorianus*, que se asienta en el fondo del tanque a lo largo del proceso fermentativo (Vasas et al., 2021).

2.4. Subproductos del proceso cervecero

La producción de cerveza genera una cantidad considerable de subproductos, entre los que destacan son el bagazo de malta cervecera (BMC), el lúpulo gastado y la levadura cervecera residual. Aunque presentan ciertas diferencias en sus características fisicoquímicas (composición, el contenido de humedad y de cenizas) todos ellos representan unas fuentes con potencial de

aprovechamiento en la industria alimentaria (Rodriguez , 2023). La composición química de estos residuos puede variar de acuerdo con el tipo y la calidad de las materias primas empleadas, así como por condiciones específicas de cada etapa del proceso cervecero. No obstante, mantienen en común un elevado valor nutricional, al ser ricos en carbohidratos, proteínas, fibra dietética, vitaminas, minerales y compuesto fenólicos. Cabe señalar que su humedad es considerablemente alta, ya que aproximadamente una quinta parte del agua utilizada en la elaboración de la cerveza se retiene en dichos subproductos (Rachwał, et al., 2020).

2.5. Aprovechamiento de subproductos en la industria alimentaria

Los subproductos cerveceros presentan un gran potencial de aprovechamiento dentro del sector alimentario, ya que pueden emplearse tanto como insumos en la formulación de nuevos alimentos para consumo humano y animal, así también en la obtención de compuestos de interés funcional. Asimismo, estos residuos pueden ser utilizado como materia prima en procesos biotecnológicos, orientados al desarrollo de aditivos para diferentes aplicaciones en la industria de alimentos (Duah et al., 2025). El bagazo de malta cervecera (BMC) es utilizado como alimentando para rumiantes, aves, cerdos y peces debido a su aporte de proteínas, fibra y aminoácidos esenciales, teniendo efectos positivos en la digestibilidad, la producción de leche, carne y huevos, además de su capacidad para sustituir parcialmente a la soya como fuente proteica. No obstante, su alto contenido de humedad representa un reto para su conservación, lo que hace necesario aplicar técnicas de secado. Otros residuos, como la levadura cervecera gastada, constituye una fuente rica en nutrientes, mejorando la eficiencia productiva y reproductiva de animales como rumiantes, aves, cerdos. En conjunto, estos subproductos representan alternativas sostenibles y de bajo costo para la nutrición animal, aunque requieren tratamientos adecuados para garantizar su inocuidad y conservación (Duah et al., 2025).

2.5.1. Beneficios ambientales y económicos

El aprovechamiento de los subproductos de la industria cervecera, principalmente el BMC y la levadura cervecera gastada (BSY) genera un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la economía (Rachwał, et al., 2020).

Desde el punto de vista ambiental, la producción de cerveza genera alrededor de 20 kg de bagazo por cada 100 litros elaborados, lo que representa aproximadamente el 85 % de los residuos totales de la industria cervecera (Camacho et al., 2021). Su uso inadecuado puede provocar problemas de contaminación debido a su alta humedad (75–80%) y a la riqueza de nutrientes que favorecen la proliferación microbiana. Sin embargo, cuando estos residuos son reincorporados en la cadena alimentaria, se reduce significativamente la acumulación de desechos y se promueve la economía circular, transformando un pasivo ambiental en una materia prima de valor. Además, el BMC y el BSY contienen compuestos bioactivos como β -glucanos, arabinosilanos y polifenoles con propiedades antioxidantes, lo que fortalece su potencial de aplicación en la elaboración de alimentos funcionales y nutritivos (Camacho et al., 2021). En cuanto a los beneficios económicos, diversos estudios han demostrado que el uso de estos subproductos disminuye los costos de producción pecuaria y agroalimentaria. Por ejemplo, la sustitución parcial de harina de soya por BSG en dietas de rumiantes puede alcanzar hasta un 75%, manteniendo la digestibilidad y aumentando la producción de leche, lo que implica un ahorro económico sin sacrificar la calidad nutricional del alimento. Asimismo, el BMC seco se puede incluir en la dieta de cerdos en proporciones del 17 al 25%, mejorando la rentabilidad del sistema de producción animal (Amorim, et al., 2016). La utilización de los residuos cerveceros contribuye a disminuir el impacto ambiental de la industria, optimiza el uso de recursos y reduce costos de formulación en alimentos. De esta manera, se convierte en una estrategia sustentable que combina la reducción de desperdicios con la generación de valor económico (Lynch, et al., 2016).

2.6. Generalidades del bagazo de malta cervecera

El BMC es el grano residual que se obtiene del proceso de elaboración de la cerveza, específicamente como consecuencia de la filtración del mosto (Raimilla et al., 2023). Este subproducto conserva el 30% de las propiedades presentes en la malta sin utilizar y está constituido principalmente por el pericarpio, es decir, la cáscara que protege al grano y que envuelve el endospermo, donde se localiza el almidón (Camacho, et al., 2021).

2.6.1. Definición y origen del bagazo de malta

El bagazo de malta cervecera es un desecho industrial que se genera durante la fermentación de los granos empleados en la producción de cerveza. Este residuo representa alrededor de 85% del total de los desechos producidos en la industria cervecera, por lo que se considera el más importante subproducto proveniente de dicho proceso (Ferreira, et al, 2014).

2.6.2. Composición del bagazo de malta cervecera

El bagazo de malta cervecera es un subproducto lignocelulósico generado durante la producción de cerveza, compuesto principalmente por las cáscaras de cebada malteada. Su composición química varía según factores como el tipo de grano, las condiciones de cultivo y el proceso de malteado. Sin embargo, estudios han identificado componentes clave que destacan su valor nutricional y funcional.

Composición química:

- **Proteínas:** El contenido proteico del BMC oscila entre el 15% y el 30%, dependiendo de la variedad de cebada y el proceso de malteado. Estas proteínas incluyen aminoácidos esenciales como lisina, leucina, isoleucina y valina, que son fundamentales para diversas funciones biológicas (Henkin et al., 2025; Nyhan et al., 2023).
- **Fibra:** La fibra representa entre el 40% y el 55% del peso seco del BMC, compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La alta concentración de fibra insoluble contribuye al tránsito intestinal y a la prevención del estreñimiento (Henkin et al., 2025).
- **Lignina:** Constituye una parte significativa de la biomasa lignocelulósica del BMC, con un contenido que varía entre el 21.7% y el 23%. La lignina es un polímero complejo que proporciona rigidez y resistencia a las paredes celulares vegetales (Nyhan et al., 2023).
- **Arabinoxilanos:** Son polisacáridos no celulósicos presentes en el BMC, le aporta un valor adicional, es un componente potencial para el desarrollo de alimentos funcionales y productos farmacéuticos. Debido a su resistencia a la degradación de enzimas intestinales, actúa como un prebiótico, mientras que sus propiedades antioxidantes le dan un efecto inmunomodulador (Camacho et al., 2021).

- **Compuestos fenólicos:** El bagazo contiene ácidos fenólicos como ácido ferúlico, p-cumárico, sinápico, cafeico y siríngico, que poseen propiedades antioxidantes y potenciales beneficios para la salud (Camacho et al., 2021).
- **Lípidos:** Aunque en menor proporción, el BMC contiene ácidos grasos esenciales como el linoleico y linolénico, que son importantes para la salud cardiovascular y metabólica (Henkin et al, 2025).
- **Minerales:** Se han identificado macro y microminerales en el bagazo, incluyendo fósforo, hierro, zinc, manganeso, calcio, magnesio y potasio, que contribuyen a diversas funciones fisiológicas (Henkin et al., 2025). El fósforo participa en la formación y mantenimiento del tejido óseo, además de intervenir en el metabolismo energético. El hierro es esencial para la síntesis de hemoglobina y la prevención de la anemia ferropénica, mientras que el zinc desempeña un papel importante en la actividad. El manganeso actúa como cofactor en múltiples reacciones metabólicas. De igual forma, el bagazo contiene cantidades moderadas de calcio y magnesio, asociados con la salud ósea y muscular, así como potasio, que contribuye al equilibrio electrolítico y al correcto funcionamiento cardiovascular (Custódio, et al., 2021).

2.6.3. Propiedades nutricionales del bagazo de malta cervecera

Desde el punto de vista nutricional, el bagazo de malta cervecera se caracteriza por su alto contenido proteico, cercano al 30%, con una fracción importante de aminoácidos. Aunque su composición puede variar según el tipo de grano utilizado y las condiciones del proceso cervecero, generalmente contiene aminoácidos esenciales como lisina, leucina, isoleucina y valina (Custódio et al., 2021). Estas proteínas se asocian con la presencia de péptidos bioactivos, a los cuales se les han atribuido efectos benéficos en la regulación de la presión arterial y en la salud cardiovascular (Garzón et al., 2022).

Asimismo, el bagazo contiene polisacáridos no amiláceos, principalmente arabinoxilanos, que han sido estudiados por su potencial efecto prebiótico, al favorecer el crecimiento de bacterias benéficas en el intestino y contribuir al equilibrio del microbiota intestinal (Custódio et al., 2021).

2.7. Galletas

2.7.1. Definición

Las galletas son productos alimenticios elaborados principalmente a partir de harinas (como trigo, avena, centeno o harinas integrales), grasas comestibles y agua. A esta mezcla base se le pueden incorporar azúcares, sal, agentes leudantes, aditivos autorizados, aromas y otros ingredientes alimentarios, según el perfil deseado. Posteriormente, la masa es sometida a procesos tecnológicos como el amasado, moldeado y horneado, lo que da lugar a un producto de baja humedad, con textura variable y amplia diversidad en forma, sabor y composición (Arepally et al., 2020). De acuerdo con Norma Mexicana NMX-F-006 y la Norma INEN 2085 del Ecuador, las galletas se caracterizan por su bajo contenido de agua, lo que favorece su conservación, y por su versatilidad en la formulación, permitiendo el desarrollo tanto de versiones tradicionales como de productos funcionales e industrializados.

2.7.2. Clasificación de galletas

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-006-1983 "Alimentos. Galletas", este producto se clasifica en tres tipos. Las galletas Tipo I, finas, se caracterizan por presentar mejores cualidades sensoriales en cuanto a sabor, olor, color y consistencia. Las galletas Tipo II, entrefinas, constituyen una categoría intermedia que mantiene atributos aceptables dentro de los parámetros establecidos. Por último, las galletas Tipo III, comerciales, corresponden a productos de consumo general que cumple con los requisitos mínimos fijados por norma. Sin embargo, las galletas también se pueden clasificar de acuerdo a su forma de preparación, ingredientes, forma y textura como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de galletas de acuerdo a su preparación, forma y textura

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Galleta de cucharada	Hechas de una masa blanda y colocado en cucharadas sobre las bandejas para hornear. Durante la cocción, los montones de masa se expanden y aplanan.	Galletas de chocolate, galletas de avena.
Galleta estirada	Hechas a partir de una masa firme que se extiende con un rodillo y se corta en formas utilizando un cortador de galletas.	Cualquier galleta cortada con molde como las galletas de azúcar
Galleta de espuma	Hechas con un gran porcentaje de espuma de claras de huevo a la que se le añade azúcar. Posteriormente, se incorporan otros ingredientes.	Macaroons y merengue.
Galleta moldeada	Con una masa rígida que enrolla entre las manos se formar una bola y se modela usando un molde u otra herramienta (tenedor, sello de galleta, fondo de un vaso).	Galletas de mantequilla de maní, medias lunas de almendra.
Galleta prensada	La masa dura se introduce en una prensa para galletas, que la fuerza a salir en formas decorativas antes de ser horneada.	Galleta Spritz.
Galleta de nevera	Hechas de masa firme que se enrolla en un rodillo, se enfría, se corta en rodajas y se hornea.	Galletas de mantequilla, algunas galletas de azúcar, algunas galletas biscotti
Galletas sin horneado	Elaboradas de masa de galleta enrollada rellena con un relleno de fruta o confitería antes de hornear.	Galletas de chocolate sin hornear, golosinas de cereales, bolitas de ron, y racimos de avena.

Galletas rellenas	Hechas de masa de galleta enrollada rellena con un relleno de fruta o confitería antes de hornear.	Cualquier galleta con relleno
Galleta tipo barra	La masa se hornea en un molde y se corta en formas de barra después de enfriarse.	Brownies, galletas de chispas de chocolate en barra
Galletas sandwich	Son galletas enrolladas o presionadas que se ensamblan como un sandwich con un relleno dulce. Los rellenos incluyen malvavisco, mermelada y glaseado.	Galletas en sandwich

Fuente Domínguez, 2024

2.7.3. Ingredientes básicos en la formulación de galletas

La formulación de galletas, de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-006-1983, contempla como ingredientes principales: harina, azúcar, grasas, los huevos, los agentes leudantes y los líquidos, cada uno cumpliendo funciones específicas que determinan la textura, el sabor, el color y la conservación del producto final (Domínguez, 2024). Por otro lado, la harina de trigo aporta estructura mediante el desarrollo de gluten, otorgando elasticidad, cohesión y manejabilidad a la masa; su proporción influye en la textura final, especialmente cuando se incorporan harinas alternativas. El azúcar, además de proporcionar dulzor, actúa como agente humectante, favorece la expansión de la masa durante el horneado, contribuye al dorado y mantiene la humedad, prolongando la frescura del producto. Las grasas, como la mantequilla, proporcionan suavidad, una textura crujiente y ligera, facilitan el manejo de la masa, permiten una cocción uniforme, controlan la expansión en el horno y ayudan a conservar la frescura del producto. Los huevos actúan como aglutinantes, aportando proteínas de alta calidad y aminoácidos esenciales que fortalecen la malla proteica de la masa, contribuyendo a la cohesión, consistencia y estabilidad de la galleta. Finalmente, los agentes leudantes permiten la aireación de la masa, mientras que los líquidos facilitan la mezcla y ajustan su consistencia, asegurando la adecuada preparación de la masa y la calidad del producto final (Huaraca et al., 2025).

2.8. Harina utilizada en la elaboración de galletas

Las galletas suelen elaborarse con harina de trigo refinada, es decir, con bajo contenido de salvado, aunque en ocasiones se incorporan proporciones menores de otras harinas con el fin de aportar características estructurales o sabores distintos (Salinas, 2014).

2.8.1. Tipos de harina y su impacto en galletas

El tipo de harina está determinado por su contenido de proteínas, ya que, a mayor proporción de estas, mayor es la fuerza de la harina. Se distinguen tres categorías principales: harina de fuerza, harina de media fuerza y harina floja; sin embargo, en la práctica se emplean principalmente la harina de fuerza y la harina floja. La primera se utiliza en preparaciones que requieren una masa más resistente y esponjosa, mientras que la segunda se destina a masas de menor fuerza, siendo posible combinarlas en proporciones variables según las necesidades de la formulación (Salinas, 2014). Diversos estudios respaldan la eficiencia de utilizar harina de trigo suave para la elaboración de galletas. Sharma (2021) reportó que dicha harina favorece una mayor expansión, mayor diámetro y un tiempo de cocción optimizado en comparación con harinas de mayor fuerza, lo que la convierte en la más adecuada para la industria galletera.

2.8.2. Harina de trigo en las galletas

La harina de trigo es el ingrediente principal en la producción de galletas debido a sus propiedades funcionales que influyen directamente en la textura, sabor y calidad del producto final. Existen diferentes tipos de harina de trigo, cada una con características específicas que afectan las propiedades finales del producto (Hoseney et al., 2009). La harina tiene varias propiedades funcionales en galletas como son las siguientes:

- **Formación de gluten:** La harina de trigo contiene proteínas formadoras de gluten (gluteninas y gliadinas), las cuales, al mezclarse con agua, originan una masa viscoelástica. Estas proteínas se hidratan e interactúan entre sí mediante enlaces de hidrógeno, enlaces disulfuro y fuerzas hidrofóbicas, formando una red tridimensional que rodea los gránulos de almidón y proporciona elasticidad, cohesión y capacidad de retención de gases en la masa (Hoseney et al., 2009).

- **Contenido de almidón:** El almidón de la harina de trigo es importante en la estructura de las galletas, ya que durante el horneado sus gránulos gelatinizan al absorber agua y calor, perdiendo su organización cristalina. Posteriormente, durante el enfriamiento, las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan mediante retrogradación, formando nuevas regiones cristalinas que refuerzan la matriz del producto. Este proceso ayuda a la firmeza, estabilidad estructural y textura final de las galletas (Wang et al., 2015).
- **Absorción de líquidos:** La harina de trigo tiene la capacidad de absorber líquidos, lo que influye en la consistencia de la masa y en la textura final de las galletas (Salinas, 2014).
- **Interacción con otros ingredientes:** La harina de trigo interactúa con otros ingredientes como grasas, azúcares y agentes leudantes, afectando el sabor, la textura y el color de las galletas (Mancebo, 2015).

2.9. Efectos de la fibra y otros ingredientes funcionales

2.9.1. Fibra alimentaria en galletas

La fibra dietética es un componente importante en la elaboración de productos de panificación debido a sus beneficios fisiológicos y a los efectos que ejerce sobre las características tecnológicas de los alimentos. En cuanto a la fibra insoluble, de acuerdo con Vilcanqui (2021), se asocia a la reducción de la glucemia y el colesterol sérico, mientras que la fibra soluble favorece la motilidad intestinal y la sensación de saciedad. De acuerdo con Rodríguez et al. (2023), el enriquecimiento con harinas o subproductos ricos en fibra puede ocasionar cambios en la textura, generando productos más compactos o con mayor crocancia, además de variaciones en el color y el sabor. Asimismo, estas modificaciones se relacionan con un aumento en el aporte nutricional y funcional del producto.

2.9.2. Otros ingredientes funcionales

La adición de harinas de leguminosas o proteínas vegetales permite enriquecer el perfil proteico, aunque puede modificar la estructura interna y la crocancia del producto (Ostrowska et al., 2023). Asimismo, el uso de ingredientes con compuestos bioactivos, como el mijo o el jengibre, ha demostrado aportar propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, contribuyendo a la revalorización de las galletas como alimentos funcionales (Tóth et al., 2019).

3. Planteamiento del Problema

La industria cervecera cuenta con un importante desarrollo en el país, sin embargo, la producción de cerveza, genera grandes cantidades de residuos, entre ellos el bagazo de mosto cervecero, este subproducto se obtiene a partir de la filtración del mosto, el cual es rico en fibra dietética, proteínas y compuestos bioactivos. No obstante, a pesar de su valor nutricional, su aprovechamiento aún se ve limitado en su mayor parte en la alimentación animal, o incluso se desecha de manera inadecuada, lo cual genera un problema ambiental ya que el BMC presenta una alta humedad y rápida descomposición. Se pretende valorizar el bagazo de mosto cervecero por medio de su transformación en harina con el propósito de emplearlo para dar un valor agregado a las galletas. Considerando que este producto de panificación es de gran aceptación a nivel mundial por su accesibilidad, versatilidad y valor energético, la incorporación de harían de BMC podría mejorar su perfil nutricional.

4. Justificación

El bagazo de malta cervecera (BMC) es un subproducto generado durante la elaboración de cerveza. En México, este residuo se destina principalmente a la alimentación de ganado o en algunos casos, se desecha de manera inadecuada, lo que provoca daños ambientales debido al alto contenido de humedad y de azúcares fermentables, las cuales provocan una rápida descomposición por actividad microbiana. No obstante, por su riqueza en fibra dietética, proteínas y compuestos bioactivos, el BMC puede considerarse como una materia prima con potencial para la elaboración de alimentos destinados al consumo humano. En este sentido, su transformación en harina y su incorporación en productos de panificación, como las galletas, constituye una alternativa viable. Este tipo de producto presenta cantidades bajas en fibras y en algunos casos de proteínas por lo que considerando las características del BMC se busca que mejore el perfil nutricional con el fin de evaluar sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales, asimismo obtener una alternativa sustentable que contribuya a la valorización de residuos agroindustriales.

5. Objetivo General

Desarrollo un alimento funcional tipo galleta de mantequilla a partir de la incorporación de harina de bagazo cervecero con el fin de valorizar este subproducto industrial dentro de la industria alimentaria.

5.1. Objetivos específicos

- Obtener y transformar el bagazo de malta cervecera mediante un proceso de secado y molienda para su uso como harina que se adicionará en galletas con distintas formulaciones.
- Caracterizar la harina de bagazo de malta cervecera mediante análisis químico-proximal, fisicoquímicos, fitoquímicos y, para identificar sus propiedades nutricionales y su viabilidad en la elaboración de alimentos de repostería como son las galletas.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, químico-proximales, microbiológicas y de textura en galletas funcionales elaboradas con harina de bagazo de malta cervecera en distintas concentraciones (0%, 5%, 10% y 15%), con el fin de determinar el efecto de su incorporación en el producto final.
- Aplicar un análisis sensorial a las galletas elaboradas con diferentes concentraciones de harina de bagazo de malta cervecera, con el propósito de evaluar el nivel de agrado del producto por parte de los jueces consumidores.

6. Hipótesis

La incorporación de harina de bagazo de malta cervecera en la elaboración de galletas mejora sus características nutricionales, al incrementar el contenido de fibra y proteína, además de modificar sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales, lo que permite obtener un producto de valor agregado con una aceptabilidad adecuada para el consumidor.

7. Materiales y métodos

7.1. Obtención del bagazo cervecero

Para la elaboración del BMC se realizaron las primeras etapas de un proceso tradicional de producción de cerveza a nivel laboratorio, hasta llegar a la etapa de filtración del mosto, fase en la que se genera este subproducto. Para dar inicio al proceso, se adquirió un total de 930 g de malta de cebada (*Hordeum vulgare* L.), perteneciente a la familia de las poáceas (gramíneas), tipo Pale, proveniente de un proveedor ubicado en el municipio de Apan, Hidalgo, México.

7.1.1. Molienda y maceración

Los granos de malta fueron triturados con el fin de favorecer la liberación de compuestos solubles durante el proceso de maceración. Posteriormente, el grano molido se mezcló con 2.7 L de agua potable previamente calentada a una temperatura entre 65 y 70°C, manteniéndose durante 90 min con agitación (Valera, 2019).

7.1.2. Cocción

El mosto obtenido de la maceración se llevó a ebullición por 60 min. Durante este proceso se adicionó lúpulo en una proporción de 2 g/L de mosto, correspondiente a un total de 5.4 g de lúpulo, incorporado 15 min antes de finalizar la cocción. En el transcurso de la ebullición se retiró manualmente la espuma superficial generada por el hervor (Valera, 2019).

7.1.3. Fermentación

Transcurrido el tiempo de cocción la mezcla se enfrió rápidamente y se pasó a un recipiente estéril. Previamente, la levadura se preparó conforme a las indicaciones del fabricante, lo que consistió en su activación en agua tibia para favorecer su rehidratación. Una vez lista se adicionó al mosto un total de 0.27 g de levadura rehidratada. El proceso de fermentación se llevó a cabo durante 7 d a una temperatura de 23 °C en un lugar oscuro, con el fin de garantizar las condiciones adecuadas para la actividad microbiana (Valera, 2019).

7.1.4. Filtración del bagazo

Al término de la fermentación, el mosto se sometió a un proceso de filtración con el objetivo de separar la parte líquida de la sólida. El sólido retenido correspondió al bagazo de malta cervecera

(BMC), el cual fue recolectado de manera inmediata para su posterior procesamiento (Valera, 2019).

7.2. Elaboración de harina de bagazo de malta

7.2.1. Secado de bagazo de malta cervecera

El BMC obtenido de la filtración se sometió a un proceso de secado para reducir su contenido de humedad y evitar su descomposición. El material se distribuyó de manera uniforme en charolas cubiertas por aluminio y se colocaron en un horno de secado a una temperatura controlada de 40°C durante 48 h. Una vez concluido el proceso, el bagazo seco fue pesado para obtener el rendimiento total (Santos et al., 2024).

7.2.2. Molienda

Para la molienda del bagazo de malta cervecera (BMC) seco, se utilizó un triturador eléctrico de granos. El material fue procesado en lotes de 200 g, con el propósito de asegurar un triturado uniforme y evitar la sobrecarga del equipo. Este procedimiento permitió obtener una harina homogénea y de textura fina.

7.3. Rendimiento de harina

Se realizó la determinación del rendimiento de harina de bagazo de malta cervecero tomando en cuenta el peso del grano seco y el peso obtenido posterior a la molienda, para ello se ocupó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

7.4. Determinación de compuestos fitoquímicos

Para la determinación de compuestos fitoquímicos, se realizó un extracto acuoso de harina de BMC usando una concentración del 10% (p/v), para eso se agregó 1 g de harían en 10 mL de agua destilada. El análisis se llevó a cabo por duplicado, y se evaluó mediante un tamizaje fisicoquímico basado en las reacciones de color conforme a los protocolos descritos por Ramman (2006).

7.4.1. Alkaloides

Dentro de un tubo de ensayo se colocó 1 mL del extracto acuoso y se añadieron 3 gotas del reactivo de Mayer. La formación de un precipitado blanco fue considerada como resultado positivo, indicando la presencia de alcaloides.

7.4.2. Insaturaciones

Para determinar la presencia de insaturaciones, se aplicó la prueba de permanganato de potasio (KMnO_4). Se depositó 1 mL del extracto acuoso en un tubo de ensayo y se añadieron 3 gotas de una solución de KMnO_4 al 2%. La prueba se consideró positiva cuando se observó decoloración de la solución o la formación de un precipitado de color café.

7.4.3. Oxidrilos fenólicos

En un tubo de ensayo se colocó 1 mL del extracto acuoso y, posteriormente, se añadieron 3 gotas de una solución de cloruro de hierro (FeCl_3) al 5%. La aparición de un precipitado de color rojo, azul violeta o verde se interpretó como resultado positivo, indicando la presencia de taninos o compuestos fenólicos.

7.4.4. Sesquiterpenlactonas

A fin de encontrar la presencia de sesquiterpenlactonas, se preparó una solución de ácido pícrico ($\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$) en etanol al 1% y una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10%. Posteriormente, ambas soluciones se mezclaron en volúmenes iguales. En un tubo de ensayo se depositó 1 mL del extracto acuoso, al cual se le adicionaron 4 gotas de la mezcla de las soluciones. La aparición de una coloración naranja o rojo oscuro se interpretó como una prueba positiva para la presencia de sesquiterpenlactonas.

7.4.5. Flavonoides

Al interior de un tubo de ensayo se colocó 1 mL del extracto y se adicionó 1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. La prueba se consideró positiva según la aparición de coloraciones características: amarillo para flavonas y flavonoles, naranja-guinda para flavonas, rojo-azuloso para chalconas y rojo-púrpura para cumarinas.

7.4.6. Saponinas

En el caso de la identificación de saponinas se ocuparon dos tipos de pruebas:

Prueba Salkowski: En un tubo de ensayo se colocó 1 mL de la muestra, en el cual se añadieron 1 mL de cloroformo (CHCl_3) y 1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4). La prueba se consideró positiva cuando se observó la aparición de una coloración amarilla o café rojiza.

Prueba Shinona: En un tubo de ensayo se depositó 1 mL de la muestra, posteriormente se añadió una pequeña cantidad de limaduras de magnesio y unas gotas de ácido clorhídrico (HCl). La presencia de un color naranja, rojo, rosado, rosado-azulado o violeta fue interpretada como resultado positivo.

7.4.7. Cumarinas

Para identificar la presencia de cumarinas se dispuso de un tubo de ensayo donde se colocó 1 mL de extracto y 1 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 10%, la prueba se consideró positiva si se observó una coloración amarilla, la cual desaparece al agregar 1 mL de ácido clorhídrico (HCl).

7.4.8. Esteroles

La identificar presencia de esteroides, se colocando en un tubo de ensayo 1 mL de extracto, posteriormente se le adicionó un 1 mL de cloroformo (CHCl_3). A esta mezcla se le agregó 1 mL de anhídrido acético ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) y 1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4). La formación de un anillo azul-verdoso en la interfase se consideró como resultado positivo.

7.4.9. Taninos

Para la identificación de taninos, se colocó 1 mL del extracto en un tubo de ensayo y se adicionaron 2 mL de agua destilada junto con unas gotas de cloruro de hierro (FeCl_3) al 0.1%. La prueba se interpretó como positiva cuando se observó una coloración característica: verde-azulada en el caso de catequinas y azul-negruzca en el caso de taninos gálicos.

7.5. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento (IAB – ISA – PRH)

Estas propiedades se determinaron siguiendo un procedimiento reportado por Fernández Salvador (2017), con las modificaciones pertinentes. Se pesaron aproximadamente 2 g de muestra seca (m_o) por triplicado, se pesaron en tubos de centrifuga de 10 mL. Posteriormente se añadieron 8 mL de agua destilada a cada tubo y se agitaron para una dispersión homogénea.

Las suspensiones se calentaron en baño maría a 90°C durante 10 min. Una vez transcurrido este tiempo, se enfriaron a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3000 g durante 10 min. Tras la centrifugación, el sobrenadante se separó y se transfirió a charolas de aluminio previamente taradas. Dichas charolas de aluminio se colocaron en una estufa de secado a 110°C durante 24 h, y posteriormente se pesaron para obtener la masa del residuo seco (m_{sd}). De igual manera, se registró la masa del sedimento hidratado (m_{ss}). A partir de estos valores, se calcularon el índice de absorción de agua (IAB), el índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PRH) con las siguientes ecuaciones:

$$IAB \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{m_{ss}}{m_o}$$

$$ISA \left(\frac{g}{100g} \right) = \frac{m_{sd}}{m_o} \times 100$$

$$PRH \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{m_{ss}}{m_o - m_{sd}}$$

Donde:

- m_o : masa de la muestra seca (g)
- m_{ss} : masa de la fracción sedimentada (g)
- m_{sd} : masa del residuo seco del sobrenadante (g)

7.6. Capacidad de absorción de agua

Para determinar la capacidad de absorción de agua, se usaron tubos de centrifuga de 10 mL ya previamente tarados (m_t), en los cuales se pesaron aproximadamente 0.4 g de harina (m_o), por triplicado. Posteriormente se añadieron 8 mL de agua destilada y se dejó reposar 10 min y se volvió a mezclar durante 20 seg. Se repitió este proceso 7 veces y se centrifugó durante 25 min a 3000g. Al terminar se eliminó el sobrenadante y los tubos con residuo se llevaron a un horno de secado a 50°C durante 25 min, dejándolo de manera inclinada en un ángulo de 15 a 20° para asegurar que el exceso se eliminara. Por último, se pesó la harina sedimentada (m_s) siguiendo el método descrito por Fernández (2017). La capacidad de absorción de agua se calculó con la siguiente formula:

$$CRA = \left[\left(\frac{m_s - m_t}{m_o} \right) - 1 \right]$$

Donde:

- m_t = masa del tubo tarado (g)
- m_o = masa de la muestra (g)
- m_s = masa del tubo con la muestra hidratada (g)

7.7. Capacidad de retención de agua (CRA)

Para la capacidad de retención de agua de la harina se realizó de acuerdo al procedimiento seguido por Fernández (2017) con modificaciones. Para ello, se utilizaron probetas de 50 mL, en las que se añadieron 40 mL de agua destilada. Se añadieron 2 g de harina seca (m_o), realizando tres réplicas por muestra. Se dejó que la harina se asentara completamente en el fondo del recipiente sin agitación, permitiendo que absorbiera agua de forma natural. Las muestras se mantuvieron en reposo durante 24 horas para asegurar una hidratación completa. Transcurrido este tiempo, se eliminó con cuidado el sobrenadante, y se registró el peso de la harina hidratada sedimentada (m_s). La capacidad de retención de agua (WHC) se calculó empleando la siguiente formula:

$$CRA \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} \right) = \frac{m_s}{m_o}$$

Donde:

- m_s = masa de la harina hidratada sedimentada (g)
- m_o = masa de la muestra seca inicial (g)

7.8. Elaboración de galletas

La elaboración de galletas se llevó a cabo con base en la metodología mencionada por Gerardos et al. (2021) con algunas modificaciones adaptadas a las condiciones del presente estudio, siguiendo como base la presente formulación: 53% de harina de trigo, 23% de mantequillas, 18% de azúcar granulada y 8% de huevo. Para su elaboración primero se mezclaron ingredientes secos y se mezclaron de manera independiente de los ingredientes húmedos, con el fin de asegurar una distribución homogénea de cada fase. Posteriormente, ambas mezclas fueron incorporadas

hasta ser completamente homogénea. La masa resultante se moldeó manualmente y se horneó a 160°C durante 20 min. Finalmente, las galletas horneadas se dejaron reposar a temperatura ambiente por 30 min antes de su evaluación. Se realizaron 4 distintos tratamientos variando el porcentaje de harina con harina de BMC.

Tabla 2. Porcentaje de sustitución de harina de BMC por harina de trigo

Formulaciones	% Harina de BMC
T0 (Control)	0
T1	5
T2	10
T3	15

BMC: Bagazo de malta cervecera

7.9. Análisis fisicoquímico

Los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado evaluando la harina de bagazo de malta cervecera, así como las galletas elaboradas con las diferentes formulaciones (T0, T1, T2 y T3).

7.9.1. Determinación de Color

La medición de color se llevó a cabo con un colorímetro de marca LINSHANG. Para la realización de las lecturas, las muestras se colocaron en capsulas, en un fondo blanco para obtener mediciones más precisas (Compaore et al., 2023).

El análisis se realizó considerando los parámetros: L^* , que indica el grado de luminosidad de la muestra; a^* , que representa la variación en la escala de verde a rojo; y b^* , que señala la gama entre el azul y el amarillo.

7.9.2. Determinación pH

La medición de pH se realizó de acuerdo a la NMX-F-317-NORMEX-2013. Para ello se utilizó un potenciómetro marca Thermo Scientific, previamente calibrado con soluciones tampón de pH 4 y 7. Para las muestras de harina de bagazo de malta cervecera y galletas se pesaron 5 g y se disolvieron en 50 mL de agua destilada dentro de vasos de precipitado se agitaron

constantemente por 30 min. Posteriormente, se efectuó la lectura de pH directamente en la suspensión a una temperatura de 19°C.

7.9.3. Determinación de Aw de las galletas

La determinación de la actividad de agua se realizó utilizando un equipo AQUALAB Series 3. Con cada tratamiento de galletas (T0, T1, T2 y T3) se pesaron 5 g de cada una y se colocaron en cápsulas plásticas, que posteriormente fueron introducidas en el equipo para realizar la lectura. Las mediciones se llevaron a cabo a temperatura controlada de 23°C y se realizaron por triplicado (Aljobair, 2022).

7.9.4. Determinación de acidez titulable

Siguiendo la metodología de Bernal et al., (2024) se determinó la acidez titulable, para ello se pesaron 10 g de cada muestra, se diluyeron en 100 mL de agua destilada y se agito por 20 seg. Posteriormente, se tomaros 10 mL de esta solución y se colocaron en un matraz Erlenmeyer, al cual se le adicionaron tres gotas de fenolftaleína como indicador. La titulación se llevó a cabo utilizando una solución de hidróxido de sodio 0.1 N. La cual se añadió gradualmente hasta que la muestra presentó un cambio de color a rosa pálido, señalando el punto final de la reacción. Una vez obtenidos los valores de cada titulación, se calculó el porcentaje de acidez titulable aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{(B)(N)(0.064)}{W} \times 100$$

Donde:

- *B*: Volumen de NaOH empleado en la titulación
- *N*: Normalidad de la base
- *W*: Peso de la muestra en gramos

Este parámetro se realizó por triplicado para cada muestra.

7.10. Análisis químico-proximal

7.10.1. Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó siguiendo el método oficial AOA925.09 (2012). Para ello se pesaron 5 g de las muestras (harina de bagazo cervecero y las galletas con las distintas concentraciones) en capsulas de aluminio a peso constante. Las capsulas con las muestras se colocaron en un horno de secado marca TERLAB, a una temperatura de 110 °C hasta alcanzar un peso constante por aproximadamente 4 h. Ya transcurrido el tiempo las capsulas se colocaron en un desecador para enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se pesó cada muestra. El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W_i - W_f)}{W_m} \times 100$$

Donde:

- W_i = peso inicial de la muestra (g)
- W_f = peso final de la muestra seca (g)
- W_m = peso de la muestra analizada (g)

Cada determinación se realizó por triplicado para obtener un valor promedio representativo de cada tratamiento.

7.10.2. Determinación de cenizas totales

Para la determinación de cenizas se realizó de acuerdo al método oficial AOAC 923.03 (2009). Primero se pesaron 5 g de muestras (harina de bagazo cervecero y las galletas con las distintas concentraciones) en crisoles de porcelana previamente tarados. Las muestras se incineraron para carbonizar la materia orgánica y luego se colocaron en una mufla a 550°C por 4 h. Terminada la incineración las muestras se pasaron aun desecador para enfriar. Por último, se registró el peso final de cada crisol con cenizas. EL porcentaje de cenizas se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_f - P_c)}{P_m} \times 100$$

Donde:

- P_f = peso final del crisol con cenizas (g)
- P_c = peso del crisol vacío (g)
- P_m = peso de la muestra (g)

7.10.3. Determinación de grasa

La determinación del contenido de grasa se realizó siguiendo el método Soxhlet, de acuerdo con la AOAC 920.39 (2010). Para ello, las muestras previamente secas (harina de bagazo de malta cervecera y galletas elaboradas con las diferentes formulaciones) se colocaron en cartuchos de celulosa, sellando con algodón en la parte superior. Cada cartucho fue colocado en vasos previamente tarados, a los cuales se les añadieron aproximadamente 100 mL de éter de petróleo como solvente de extracción. Posteriormente, los vasos se dispusieron en el equipo de extracción Soxhlet (BUCHI), el cual fue programado para una etapa de extracción de 3 h, seguida de 30 min de lavado y 30 min de secado. Una vez finalizado el proceso, los vasos se dejaron enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador y se pesaron nuevamente para determinar el residuo graso. El contenido de grasa se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{B - A}{PM} \times 100$$

Donde:

- B = peso del vaso con la grasa extraída (g)
- A = peso del vaso vacío (g)
- PM = peso de la muestra (g)

7.10.4. Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra cruda se realizó utilizando un extractor de fibra (LABCONCO), siguiendo el método AOAC 962.09 (2010). Para este análisis, las muestras se usaron secas y desgrasadas se colocaron en cartuchos de celulosa, los cuales se introdujeron en vasos Berzelius que contenían 200 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.225 N previamente calentado. Los vasos se situaron en el extractor de fibra, manteniendo la ebullición controlada durante 30 min. Finalizada esta etapa, el contenido se filtró utilizando embudos con tela y se enjuagó el residuo con agua destilada caliente hasta alcanzar un pH neutro. Posteriormente, el residuo se sometió a digestión alcalina,

para ello se añadió de 200 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 0.313 N caliente y se mantuvo nuevamente en ebullición por 30 min. Al término de la digestión alcalina, se filtró de nuevo y se lavó con 25 mL de H₂SO₄ 0.225 N caliente, seguido de 150 mL de agua destilada caliente. Finalmente, se aplicó un enjuague con 25 mL de alcohol para eliminar residuos solubles. El material insoluble se retiró de la tela con ayuda de una espátula y se transfirió a crisoles previamente tarados. Los crisoles se colocaron en una estufa de secado a 120°C por 2 h, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron. Posteriormente, se incineraron en una mufla a 530°C durante 30 min, se enfriaron nuevamente en desecador y se pesaron nuevamente. El porcentaje de fibra cruda se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{Peso del crisol con muestra seca} - \text{Peso del crisol con muestra calcinda}}{\text{Peso real de la muestra}} \times 100$$

7.10.5. Determinación de proteína

Para realizar la determinación de proteína se llevó a cabo mediante el método Micro-Kjeldahl, de acuerdo con el procedimiento oficial AOAC 920.123 (2019). Para el análisis, se pesaron 0.5 g de muestra utilizando papel libre de nitrógeno. Cada porción se colocó en un matraz Kjeldahl, al que se le añadieron 20 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y una pastilla digestora como catalizador. Los matraces se situaron en un digestor Kjeldahl, manteniéndolos hasta lograr la conversión completa del nitrógeno orgánico en ion amonio, hasta un cambio de color de la mezcla a transparente. Posteriormente, los matraces se retiraron del equipo y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, para luego añadir 20 mL de agua destilada. Para la etapa de destilación, se colocó un matraz Erlenmeyer con 50 mL de ácido butírico (C₄H₈O₂) al 2% y se adicionaron dos gotas de indicador rojo de metilo. La solución digerida se neutralizó y destiló en un destilador BUCHI. Por último, se realizó la titulación del destilado con ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.1 N, determinando así el contenido de nitrógeno. A partir de este valor, el porcentaje de proteína cruda se calculó con la siguiente formula:

$$\% N = \frac{(\text{mL de H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados en muestra} - \text{mL de H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados en el blanco}) \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 14.007}{\text{Peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\% N)(6.25)$$

De acuerdo con Naibaho et al. (2021) se usó 6.25 como factor de corrección.

Donde:

- $N_{H_2SO_4}$ = normalidad del ácido sulfúrico utilizado en la titulación
- 14.007 = peso atómico del nitrógeno (mg/meq)
- El volumen se expresa en mL y la masa de la muestra en mg para obtener el porcentaje.

7.11. Análisis de perfil de textura

El análisis de textura se realizó mediante la determinación de los parámetros de dureza y fracturabilidad de acuerdo con la metodología sugerida por Cabrera et al., (2023), la cual fue modificada de acuerdo a las condiciones del presente estudio. Para llevar a cabo la medición se usó un texturometro modelo CT3 (Brookfield) y se estandarizaron las dimensiones de las galletas dejando 4.6 cm de diámetro y 0.5 de ancho para minimizar la variabilidad de los resultados. A dichas galletas se les realizó la prueba de manera individual en el texturometro aplicando una velocidad de prueba de 1 mm/s, una distancia de compresión de 5 mm y una celda de carga de 4.5 kg. Estas mediciones permitieron evaluar el efecto de la incorporación de la harina de BMC sobre la estructura del producto.

7.12. Análisis microbiológico

Se realizó un análisis microbiológico para identificar la presencia de microorganismos indicadores tanto en la harina de bagazo de malta cervecera, así como en las galletas en los diferentes tratamientos de harina (T0, T1, T2 y T3). Para el recuento de hongos y levaduras se empleó agar papa dextrosa. En cambio, para la detección de coliformes totales se utilizó agar MacConkey. Por último, para la cuantificación de bacterias aerobias mesófilas se usó el método de recuento en placa. Los medios de cultivo se prepararon pesando las cantidades indicadas en las instrucciones de cada tipo de agar, los cuales fueron disueltos en 500 mL de agua destilada en matraces Erlenmeyer de 1000 mL de capacidad. La mezcla se calentó con agitación hasta una total disolución. Posteriormente, tanto los medios de cultivo y los tubos de ensayo con 4.5 mL de agua peptonada se esterilizaron a 121°C durante 15 min. Una vez esterilizados, se vertieron 15 mL de medio de cultivo en cada caja Petri, las cuales se incubaron a 28°C durante 24 horas para verificar su estabilidad y esterilización. Para la siembra, se adicionaron 0.5 g de harina de bagazo de malta cervecera y de galletas en tubos de ensayo que contenían 4.5 mL de agua peptonada, para

realizar las diluciones seriadas, correspondientes a los tratamientos (C, T1, T2 y T3). El área de trabajo fue previamente desinfectada para garantizar condiciones asépticas. En el caso de los medios de agar papa dextrosa y MacConkey, se emplearon diluciones -1 y -2, mientras que para agar cuenta estándar se trabajó con las diluciones -1, -2 y -3. Las placas se inocularon con 0.2 mL de muestra correspondiente y se incubaron a 28°C. posteriormente se realizó el conteo de colonias de manera manual a las 24, 48 y 120 horas de incubación, se registró el crecimiento observado (COFEPRIS, 2022).

7.13. Análisis sensorial

Se llevó a cabo una prueba hedónica de nivel de agrado, basada en la metodología descrita por Cabrera et al. (2023) con la participación de 111 jueces no entrenados. A cada panelista se le entregó un formato impreso con las instrucciones para la evaluación sensorial (Anexo). Las muestras de galletas elaboradas con diferentes formulaciones de harina de BMC (T0, T1, T2 y T3) fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos y presentadas de manera aleatoria en charolas de unicel previamente codificadas. Los participantes evaluaron el nivel de agrado de cada muestra empleando una escala hedónica, considerando aspectos como sabor, textura y consistencia.

7.14. Análisis estadístico de resultados

El análisis estadístico se realizó utilizando el software SPSS Statistics 25. Para ello, las pruebas se llevaron a cabo por triplicado y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y, posteriormente, la prueba de Tukey para la comparación de medias. De esta manera, fue posible identificar diferencias significativas entre los tratamientos, utilizando un nivel de significancia de ($p < 0.05$).

8. Resultados y discusión

8.1. Rendimiento de la harina de bagazo de malta cervecera

El rendimiento de la harina de bagazo de malta cervecera se determinó a partir de la relación entre la cantidad inicial de cebada malteada empleada en el proceso cervecero (930 g) y la cantidad final de la harina obtenida tras el secado y la molienda (695.4 g). El resultado obtenido fue de 74.8%, lo que nos indica que aproximadamente una cuarta parte de la masa original se pierde durante el proceso. Esta disminución en peso se puede atribuir principalmente a la

perdida de humedad y la extracción de componentes solubles durante la maceración cervecera, quedando en el bagazo las fracciones fibrosas y proteicas insolubles (Olivares et al., 2022).

8.2. Compuestos fitoquímicos presentes en la harina de bagazo de malta

Los fitoquímicos son metabolitos secundarios de las plantas (ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, saponinas, fitoesteroles, terpenos, alcaloides) con funciones tecnológicas y bioactivas: influyen en el color y sabor, regulan la capacidad antioxidante, y pueden interactuar con proteínas y polisacáridos influyendo en propiedades de la masa y del producto horneado (textura, dorado, retención de agua). En cereales destacan los fenólicos (sobre todo ácido ferúlico), flavonoides y fitosteroles; en leguminosas son comunes saponinas y taninos (Tian et al., 2022). En la harina de BMC, el tamizaje cualitativo mostró: presencia de insaturaciones, sesquiterpenlactonas, saponinas y cumarinas. Este perfil indica la presencia de esteroides (reacción de Salkowski) y compuestos insaturados, junto con cumarinas y sesquiterpenlactonas, pueden aportar actividad antioxidante, sabores amargos y causa la tonalidad parda observada en el color de la harina (Lončar et al., 2020). Al comparar estos resultados con los reportados por Ibdapo et al. (2023) correspondiente al tamizaje fitoquímico de extractos de diferentes harinas (okra, mijo malteado y trigo), se observaron algunas similitudes y diferencias importantes en la composición de metabolitos secundarios. Dentro de este estudio la harina de trigo tuvo presencia de flavonoides, fenoles, esteroides, alcaloides y saponinas mientras que los taninos estuvieron ausentes. De manera similar, en la harina de BMC también se detectó la presencia de saponinas, lo cual sugiere que este grupo de compuestos es relativamente común en matrices vegetales procesadas y podría estar asociado a funciones bioactivas como actividad antimicrobiana o propiedades espumantes (Li et al., 2023).

Tabla 3. Resultados del tamiz fitoquímico de la harina de BCM

Compuestos fitoquímicos	Resultado
Alcaloides	-
Instauraciones	+
Oxidrilos fenólicos	-
Sesquiterpenlactonas	+
Flavonoides	-
Saponinas (prueba de Salkowski)	+
Saponinas (prueba de Shinoda)	+
Cumarinas	+
Esteroles	-
Taninos	-

(+): presencia y (-): ausencia

8.3. Propiedades funcionales de la harina de bagazo cervecero

Los valores obtenidos para las propiedades funcionales de la harina de bagazo de malta cervecera (BMC) se presentan en la Tabla 5. El análisis muestra que esta harina posee características funcionales destacables en comparación con harinas vegetales convencionales, lo que podría darle ventajas tecnológicas para su incorporación en productos de panificación o galletería.

Tabla 4. Propiedades funcionales de la harina

Propiedades	Harina BMC (g/g)
Índice de absorción (IAB)	6.03±0.08
Índice de solubilidad (ISA)	6.24±1.84
Poder de hinchamiento (PRT)	6.43±0.19
Capacidad de retención (CRA)	4.41±0.05
Capacidad de absorción (CBA)	2.88±0.30

La harina de bagazo de malta cervecera (BMC) presentó un índice de absorción de agua (IAB) de 6.03 ± 0.08 g/g, valor superior al reportado para harinas de trigo sarraceno (4.24–5.89 g/g) y comparable al de algunas variedades de tef español (6.53 g/g), reportados por Fernández (2017), lo que indica una notable afinidad por el agua. Esta propiedad está relacionada con la presencia de fibra dietética, proteínas y componentes hidrofílicos que facilitan la interacción con las moléculas de agua, como se ha observado también en harinas libres de gluten (Culetu et al., 2021; Friero et al., 2024). La harina de BMC al presentar mayor cantidad de estos compuestos por consecuencia su IAB es mayor. El índice de solubilidad en agua (ISA) obtenido fue de 6.24 ± 1.84 g/g, encontrándose en un rango similar al de harinas de tef españolas (5.8–7.7 g/g) y por encima de las harinas de trigo sarraceno polaco (1.91–4.55 g/g) (Fernández, 2017), lo que sugiere una fracción soluble considerable, posiblemente relacionada a azúcares simples liberados durante el proceso cervecero; este comportamiento es similar a lo observado en harinas compuestas y germinadas, donde el incremento de fracciones solubles mejora la funcionalidad tecnológica (Hasmadi et al., 2019). El poder de hinchamiento (PRT) fue de 6.43 ± 0.19 g/g, valor comparable al de la harina de trigo sarraceno polaco (6.40 g/g) y ligeramente inferior a la harina de Tef blanco español (7.07 g/g), reflejando una buena capacidad de hidratación de los gránulos de almidón (Fernández, 2017). En cuanto a la capacidad de retención de agua (CRA), la harina de BMC alcanzó 4.41 ± 0.05 g/g, superando a las harinas de trigo sarraceno (2.82–3.32 g/g) y tef (2.82–3.43 g/g),

lo que muestra alta cantidad de fibra insoluble presente influye en la capacidad de retener agua insoluble (Fernández, 2017). Por último, la capacidad de absorción de agua (CAB) fue de 2.88 ± 0.30 g/g, superior al rango de harinas de trigo sarraceno (0.87–1.01 g/g) y tef (Fernández, 2017), los valores elevados de CBA han sido reportados también en harinas compuestas de trigo-yuca y cebada, asociándose con mejor retención de humedad y aumento de viscosidad en productos horneados (Li et al., 2023; Friero et al., 2024). Analizando estos resultados, se muestran que la harina de BMC presenta propiedades funcionales superiores o comparables a las de harinas vegetales convencionales, lo que la posiciona como un ingrediente con potencial tecnológico en aplicaciones alimentarias que requieren alta absorción y retención de agua, buena solubilidad y capacidad de hinchamiento.

8.4. Propiedades fisicoquímicas de la harina de bagazo de malta cervecera

La Tabla 3 muestra las propiedades fisicoquímicas de la harina de BMC la cual presentó una acidez de 0.26% y un pH de 5.79, valores que se encuentran dentro del rango reportado para harinas vegetales ligeramente ácidas. El pH fue inferior al de la harina de trigo (6.66), pero superior al de la harina de camote amarillo (4.60) (Neri, 2016) ya que la harina de trigo presenta pH ligeramente ácido dependiendo del contenido mineral mientras que la harina de camote puede ser más ácida debido a que los tubérculos contiene mayor cantidadde ácidos orgánicos como ácido málico y cítrico, lo que genera valores de pH más bajo (Delcour, 2010). Estas diferencias se atribuyen a la coomposición química y al proceso de cada harina. En el caso la hariana BMC el pH se relaciona con la presencia de ácidos orgánicos residuales debido al proceso de elaboración de la cerveza, ya que durante este se liberan compuestos solubles del grano, ácidos orgánicos como ácido láctico y acético, y aunque gran parte de estos se queda en el mosto (Mora et al., 2018), el BMC retiene parte de ellos lo que causa que mantenga un pH ligeramente ácido a comparación de la harina de trigo. En cuanto al color, los valores $L = 55.19$, $a = 10.36$ y $b^* = 17.11^{**}$ indican un tono marrón amarillento, característico de harinas de bagazo de malta secas y molidas, pero más oscuro que el reportado para bagazo cervecero promedio ($L^* \approx 60.04$) (Naibaho et al., 2021) ya que las temperaturas elevadas durante el secado pueden provocar recciones de pardeamiento no enzimático, disminuyendo la luminosidad del producto (Kieran et al., 2016).

8.5. Composición químico-proximal de la harina del bagazo de malta cervecera

En la Tabla 3 se presenta la composición químico-proximal de la harina de bagazo de malta cervecera (BMC) obtenida en este estudio. Analizando cada uno de los parámetros, se observa que la harina presentó un contenido de humedad de 7.37%, adecuado para su conservación, ya que valores bajos favorecen la estabilidad durante el almacenamiento. No obstante, este valor fue superior al reportado por Naibaho et al. (2021) para bagazo cervecero seco (3.05%), pero inferior al observado en harinas vegetales tradicionales, como quinua (13.5%), cañihua (10.01%) (Castillo et al., 2021) y camote amarillo (4.60%) (Neri, 2016). La humedad baja en la harina de BMC puede atribuirse al proceso de secado al cual el grano se sometió antes de la molienda. Por otro lado, la leve variación podría deberse a la absorción de la humedad durante su manipulación. El contenido de cenizas (1.49%) fue inferior al promedio reportado para bagazo cervecero (4.07%) y a los valores encontrados en harinas de quinua (3–3.5%) y cañihua (2.76%) (Naibaho et al., 2021; Castillo et al., 2021) dicha disminución es causada probablemente por la maceración, aquí una parte importante de minerales solubles se quedan en el mosto disminuyendo el mineral residual encontrado en el BMC y por ende en la harina del mismo (Pagenstecher et al., 2021). Por otro lado, la fracción de grasa fue de 2.04%, significativamente menor que la reportada para bagazo cervecero seco (10.72%) y para harina de quinua (4%) (Naibaho et al., 2021), lo cual podría atribuirse al proceso de secado y molienda empleado, que probablemente redujo el contenido lipídico disponible para la extracción. La fibra cruda (5.81%) fue superior a la de quinua (3.11%) (Pantoja et Al., 2020) pero inferior a la de la cañihua (6.1%) (Zegarra et al., 2019). Dichas diferencias pueden deberse a la composición estructural de cada materia prima, en el caso del BMC durante su maceración se eliminan compuestos solubles como azúcares y almidón, en cambio la quinua presenta menor proporción de fibra estructural debido a su composición rica en almidón (Pantoja et Al., 2020), en el caso de la cañihua contiene mayor porcentaje de fibra relacionada con su pericarpio y estructura celular más resistente (Zegarra et al., 2019), lo que concuerda con sus valores elevados. En cuanto a proteínas, la harina de BMC presentó valores similares al trigo (12.82%), superiores a quinua (9.02%) (Pantoja et Al., 2020), pero inferiores a cañihua (20.61%) y bagazo cervecero seco (22.54%). Estos datos pueden estar relacionados de igual forma con la maceración del BMC, ya que, en esta etapa, las proteínas son parcialmente

hidrolizadas y la fracción soluble se queda en el mosto dando como resultado un porcentaje intermedio a comparación de otras harinas (Celus et al. 2006). Los carbohidratos fueron el componente mayoritario (71.68%), comparables con los de quinua (63%) (Pantoja et Al., 2020) y trigo (71.21 %), y mayores a los reportados para bagazo seco (61.34%) (Castillo et al., 2025). Esto se explica por la permanencia de polisacáridos estructurales como celulosa y hemicelulosa en el BMC, los cuales no son extraídos en su totalidad durante el proceso cervecero a lo que contribuye al alto contenido de carbohidratos totales (Fangel et al., 2018).

Tabla 5. Características químico-proximal y fisicoquímicas de la harina de BMC

Componentes	Harina de BMC
Humedad (%)	7.37±0.1
Cenizas (%)	1.49±0.07
Grasa (%)	2.04±0.44
Fibra Cruda (%)	5.81±0.73
Proteínas (%)	11.34±1.1
Carbohidratos (%)	71.68±2.14
Acidez	0.26±0.03
Ph	5.79±0.17
Color	
L*	55.19±0.67
a*	10.36±0.32
b*	17.11±0.63

L*: Luminosidad, a*: verde a rojo y b*: azul a amarillo

8.6. Propiedades fisicoquímicas de galletas adicionadas con harina de BMC

Como se muestra en la tabla 7 la incorporación de harina de BMC influyó en las propiedades fisicoquímicas de las galletas, en especial en los valores de acidez y pH, mientras que la a_w se mantuvo sin diferencias significativas ($p < 0.05$). Hubo un aumento progresivo de acidez pasando de $0.057 \pm 0.0006\%$ en el control (T0) a $0.305 \pm 0.0021\%$ en el tratamiento con 15% de harina

(T3). En la investigación de Luque et al., (2024) con galletas sin gluten formuladas con harinas alternativas (harina de cañihua y suero de leche), los valores de pH estuvieron en un rango relativamente cercano al observado en este estudio (la acidez titulable como ácido láctico fue de $0.110 \pm 0.02\%$) y la acidez expresada en ácido láctico también se modificó con las distintas formulaciones. Lo anterior muestra que la sustitución de ingredientes en productos de repostería puede influir en acidez y pH según la composición de los ingredientes incorporados tal como se muestra en los valores de pH que se encuentran entre 5.98 y 6.18, mostrando un ligero descenso en los tratamientos T1 y T2 con diferencias significativas ($p < 0.05$), seguido de un aumento en T3. La actividad de agua (a_w) no mostró diferencia significativa ($p < 0.05$), sus valores oscilaron entre 0.277 ± 0.356 , solo se observó una leve disminución en los tratamientos 5% y 10% lo que indica que la sustitución parcial de harina de trigo puede no alterar ciertos parámetros como a_w por lo que no modifica significativamente la disponibilidad de agua libre en el sistema. La incorporación de harina de BMC provocó cambios significativos ($p < 0.05$), en los parámetros de color de las galletas (Tabla 8). Se observó una disminución en la luminosidad (L^*), de 79.43 ± 0.45 en el control (T0) a 62.06 ± 0.72 en el tratamiento con 15 % de harina (T3), lo que indica un oscurecimiento notable del producto. Este comportamiento se asocia al color producido de las reacciones de Maillard y caramelización durante el horneado, fenómenos que provocan a oscurecer por el alto contenido proteico y de azúcares reductores (Nicolai et al., 2025; Farcas et al., 2021). En cuanto al parámetro a^* , que representa la transición de verde a rojo, se registró un aumento significativo ($p < 0.05$), en los tratamientos con 5 % y 10 % de BMC en comparación con el control, lo que señala a un tono más rojizo. Por otro lado, el valor del parámetro b^* (de azul a amarillo) disminuyó de 27.36 ± 0.72 a 17.64 ± 0.78 , lo cual indica una reducción de la tonalidad amarilla y una tendencia hacia colores más marrones. Este resultado concuerda con lo informado por Farcaş et al. (2021), quienes observaron una disminución de b^* en galletas y panes enriquecidos con bagazo. En conjunto, los cambios en L^* , a^* y b^* reflejan que la sustitución de harina de trigo por harina de bagazo cervecero oscurece y enriquece visualmente las galletas, generando tonos tostados y rojizos característicos de productos funcionales con alto contenido de fibra.

Tabla 6. Características de color de galletas con adición de harina de BMC

Componentes	T0 (0%)	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
L*	79.43±0.45 ^a	72.26±0.73 ^b	62.47±0.57 ^c	62.06±0.72 ^c
a*	3.04±0.06 ^b	14.01±0.66 ^b	7.72±0.18 ^a	6.49±1.29 ^a
b*	27.36±0.72 ^a	18.28±0.75 ^b	18.01±0.49 ^b	17.64±0.78 ^b

T0: Control, queso sin adición de harina de BMC, T1: Tratamiento 1, galleta con 5% de harina de BMC, T2: Tratamiento 2, galleta con adición del 10% de harina de BMC y T3: Tratamiento 3, galleta con 15% de harina de BMC. L*: Luminosidad, a*: verde a rojo y b*: azul a amarillo. ^{a b c} Laterales que indican las diferencias significativas entre las diferentes muestras (p<0.05).

8.7. Composición químico-proximal de galletas adicionadas con harina de BMC

La incorporación de harina de BMC en la realización de galletas, modificó de manera apreciable su perfil químico-proximal, por lo que los datos obtenidos de humedad, cenizas, grasas, fibra cruda, proteína carbohidratos se reportan en la Tabla 6 y comparando los resultados entre las diferentes concentraciones de harina de bagazo de BMC (T0, T1, T2 y T3). A medida que aumentó el nivel de harina de BMC, se notó una disminución significativa en el contenido de humedad (de 4.2 % en T0 a 2.58% en T3). Este comportamiento se debe a la alta proporción de fibra dietética que se encuentra en el BMC, principalmente celulosa y hemicelulosa (Falcón et al., 2011), las cuales tiene una alta capacidad de retención de agua durante la masa, pero favorecen su liberación durante el horneado ya que tiene una baja capacidad de formar redes estructurales como el gluten (Atzle, et al., 2021). Con respecto el contenido de cenizas se mostró un ligero incremento, reflejando un mayor aporte mineral resultante de la sustitución de la harina de trigo por harina de BMC, ya que modifico la proporción global de minerales del sistema, si bien la harina de BMC presento menor contenido de cenizas en comparación de otras harinas, pero aporta minerales propios como fosfato, magnesio y potasio (Custódio, et al., 2021) que hacen que al aumenta su cantidad en la mezcla también aumenta la cantidad de cenizas en el producto final. Por otro lado, desde el enfoque estadístico se reflejaron diferencias significativas (p<0.05)

entre T0 y los tratamientos T2y T3, en cambio, el T1 no tuvo diferencias significativas. En cuanto determinación de grasa, los valores se encuentran entre 17.7% y 18.3%, sin variaciones estadísticamente significativas, lo que indica que la sustitución no afectó el contenido de grasa ya que el contenido lipídico del sistema está depende principalmente por ingredientes grasos dentro de la formulación, y el BMC presenta bajo contenido de lípidos, por lo que su incorporación no tiene un impacto notable. Por otro lado, la fibra cruda aumentó conforme aumento la adición de BMC (de 0.05% a 0.46%), confirmando el efecto esperado del bagazo como fuente de fibra dietética. En el caso de las proteínas, se observó un ligero aumento con respecto al control, aunque sin diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con harina, el cual se relaciona con el contenido de proteínas residuales del grano de cebada que no son completamente extraídas durante el proceso cervecero (Jaeger et al., 2021). En el caso de los carbohidratos se mantuvieron estables, indicando que la sustitución de harina de trigo por harina de bagazo cervecero no alteró de forma relevante este componente ya que la harina de trigo como la harina de BMC contiene cantidades importantes de carbohidratos, lo que mantiene constante el contenido total de este componente. En conjunto, los resultados muestran que el bagazo cervecero contribuye principalmente a incrementar el contenido de fibra y minerales, al tiempo que reduce la humedad de las galletas, mejorando su perfil funcional sin modificar de forma significativa su composición energética.

Tabla 7. Características químico-proximal de las galletas con distintas concentraciones de harina de BMC

Componentes	T0 (0%)	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
Humedad (%)	4.23±0.09 ^a	2.87±0.06 ^b	2.69±0.06 ^c	2.58±0.06 ^c
Cenizas (%)	0.53±0.00 ^b	0.58±0.06 ^{a,b}	0.62±0.00 ^a	0.62±0.00 ^a
Grasa (%)	18.15±0.12 ^{a,b}	17.76±0.37 ^b	18.36±0.21 ^{a,b}	18.04±0.14 ^b
Fibra Cruda (%)	0.05±0.01 ^d	0.13±0.03 ^c	0.36±0.03 ^b	0.46±0.01 ^a
Proteínas (%)	5.07±0.13 ^c	6.01±0.10 ^b	6.37±0.08 ^a	6.33±0.19 ^{a,b}
Carbohidratos (%)	71.98±0.22 ^{a,b}	72.65±0.54 ^a	71.61±0.12 ^b	71.97±0.38 ^{a,b}

T0: Control, galleta sin adición de harina de BMC, T1: Tratamiento 1, galleta con 5 % de harina de BMC, T2: Tratamiento 2, galleta con 10 % de harina de BMC y T3: Tratamiento 3, galletas con 15 % de harina de BMC. a b c d Superíndices que muestran la diferencia significativa entre las diferentes muestras (p<0.05).

Tabla 8. Características fisicoquímicas de galletas con diferentes concentraciones de harina de BMC

Componentes	T0 (0%)	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
Acidez	0.0570±0.00063 ^c	0.1276±0.00000 ^b	0.1522±0.00063 ^b	0.3050±0.00213 ^a
pH	6.16000±0.00000 ^a	5.98000±0.02000 ^c	6.05000±0.02656 ^b	6.18000±0.01732 ^a
aw	0.33000±0.00600 ^a	0.28733±0.01662 ^a	0.27750±0.00952 ^a	0.35633±0.16781 ^a

T0: Control, galletas sin adición de harina de BMC, T1: Tratamiento 1, galletas con 5 % de harina de BMC, T2: Tratamiento 2, galletas con adición del 10 % de harina de BMC y T3: Tratamiento 3, galleta con 15% de harina de BMC. ^{a b c} Laterales que indican las diferencias significativas entre las diferentes muestras (p<0.05).

8.8. Textura de las galletas

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis de textura en las galletas elaboradas con harina de bagazo de malta cervecera (BMC). El tratamiento control (T0) presentó el valor más alto de dureza (43.80 ± 3.02 N), mientras que los tratamientos con 5% (24.08 ± 1.23 N) y 10% (24.45 ± 0.36 N) mostraron una reducción significativa, cercana al 45% respecto al control. El tratamiento con 15% (30.66 ± 4.10 N) evidenció un incremento en comparación con T1 y T2, aunque sin alcanzar el nivel del control. Estos resultados indican que la incorporación moderada de BMC debilita la estructura de las galletas, lo que puede atribuirse al aumento de la fibra proveniente del bagazo, la cual interfiere con la formación de la red de gluten y reduce la capacidad de retención de agua, generando una textura más quebradiza y con menor cohesión interna (Zhou et al., 2025). Con concentraciones más altas (15% de BMC), la dureza se incrementa nuevamente (30.66 ± 4.10 N), lo que sugiere que un exceso de fibra puede actuar como refuerzo estructural, aumentando la resistencia (Nicolai et al., 2025). El trabajo de fractura disminuyó en las muestras con 5% y 10% de BMC (0.72×10^{-2} J y 0.80×10^{-2} J) en comparación con el control (1.62×10^{-2} J), lo que refleja una menor energía necesaria para fracturar la galleta. Sin embargo, el tratamiento con 15% (1.10×10^{-2} J) mostró un ligero incremento, posiblemente asociado a una mayor densidad y rigidez estructural, derivadas del mayor contenido de sólidos y fibra. Estos resultados indican que la incorporación moderada (5–10%) de harina de bagazo de malta cervecera produce galletas más crujientes y fáciles de romper, mientras que niveles superiores (15%) tienden a incrementar la rigidez y disminuir la friabilidad.

Tabla 9. Características de textura de las diferentes galletas con harina de BMC

Componentes	T0 (0%)	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
Dureza (N)	43.80±3.02 ^a	24.08±1.23 ^b	24.45±0.36 ^b	30.66±4.10 ^b
Trabajo de fractura (J)	1.62x10 ⁻² ± 0.14x10 ^{-2a}	0.72x10 ⁻² ± 0.72x10 ^{-3c}	0.80x10 ⁻² ± 0.22x10 ^{-3bc}	1.10x10 ⁻² ± 0.37x10 ^{-3b}

T0: Control, galletas sin adición de harina de harina de BMC, T1: Tratamiento 1, galletas con 5 % de harina de BMC, T2: Tratamiento 2, galletas con adición del 10% de harina de BMC y T3: Tratamiento 3, galletas con 15% de harina de BMC. N: Newton y J: Joule. ^{a b c} Laterales que indican las diferencias significativas entre las diferentes muestras (p<0.05).

8.9. Análisis microbiológico de las galletas con harina de Bagazo de malta cervecera

Los resultados microbiológicos de las galletas con harina de BMC, como se muestra en la Tabla 9, se puede observar que en el control (T0) y en los tratamientos T1 (5%) y T2 (10%) no se detectaron bacterias aerobias (UFC/g) a las 24 h, lo cual indica una buena calidad inicial. En cambio, en el recuento de hongos y levaduras mostró presencia hasta las 120 h, aunque en T3 sí se detectaron 50 UFC/g a las 48 h y 75 UFC/g a las 120 h. Estos valores son bajos y coherentes con la baja actividad de agua previamente reportada (0.27–0.35), condición que limita el desarrollo de mohos y levaduras. Sin embargo, la ligera aparición de hongos y levaduras podría asociarse a una mayor disponibilidad de nutrientes provenientes del bagazo, ya que este subproducto se caracteriza por tener una fracción significativa de compuestos orgánicos, como fibra, proteínas y carbohidratos residuales (Carillo et al., 2024). Por otro lado, no hubo presencia de coliformes en ninguno de los tratamientos, lo cual es un buen indicador de higiene. De acuerdo con la literatura, Nicolai et al. (2025) reportaron que con hasta 50% de bagazo de cervecería no se detectaron mohos ni levaduras, lo cual coincide parcialmente con los bajos contenidos en este estudio. Sin embargo, se observó un ligero incremento microbiano en el tratamiento con 15% de BMC podría tener mayor disponibilidad de nutrientes como fibra y proteína que favorecen el crecimiento bacteriano. En conjunto, los resultados indican que las galletas con harina de BMC muestran buena estabilidad microbiológica.

Tabla 10. Características microbiológicas de las galletas con harina de BMC

Microrganismos	Tiempo	T0 (0%)	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
Bacterias aerobias (UFC/g)	24h	0.00	0.00	0.00	0.00
	48h	500	0.00	500	1000
	120h	750	1000	1700	12500
Hongos y levaduras (UFC/g)	24h	0.00	0.00	0.00	0.00
	48h	0.00	0.00	0.00	50
	120h	0.00	0.00	50	75
Coliformes (UFC/g)	24h	0.00	0.00	0.00	0.00
	48h	0.00	0.00	0.00	0.00
	120h	0.00	0.00	0.00	0.00

T0: Control, queso sin adición de harina de BMC, T1: Tratamiento 1, galleta con 5% de harina de BMC, T2: Tratamiento 2, galleta con adición del 10% de harina de BMC y T3: Tratamiento 3, galleta con 15% de harina de BMC. UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

8.10. Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial de las galletas elaboradas con diferentes niveles de sustitución de harina de bagazo de malta cervecera, se aplicó una prueba hedónica dirigida a un panel de jueces consumidores no entrenados. Los valores asignados reflejan el nivel de agrado promedio de los jueces hacia cada atributo, de manera que valores cercanos a 6 o 7 indican una alta aceptación sensorial, mientras que valores próximos a 3 o 4 representan una aceptación media o neutral. Los datos obtenidos fueron analizados mediante pruebas estadísticas (ANOVA y prueba de Tukey HSD al 5% de significancia), y los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Promedios del nivel de agrado para los atributos sensoriales de las galletas con diferentes porcentajes de harina de bagazo de malta cervecera

Atributo	T0 (0%)	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
Textura	5.798 ± 0.137 ^a	5.514 ± 0.137 ^{b,c}	5.468 ± 0.137 ^c	5.615 ± 0.137 ^b
Sabor	5.624 ± 0.124 ^b	5.514 ± 0.124 ^c	5.495 ± 0.124 ^c	5.872 ± 0.124 ^a
Olor	5.638 ± 0.101 ^b	5.495 ± 0.101 ^c	5.532 ± 0.101 ^c	5.752 ± 0.101 ^a
Color	5.936 ± 0.122 ^a	5.339 ± 0.122 ^c	5.128 ± 0.122 ^c	5.716 ± 0.122 ^b

T0: Control, galletas sin adición de harina de harina de BMC, T1: Tratamiento 1, galletas con 5% de harina de BMC, T2: Tratamiento 2, galletas con adición del 10% de harina de BMC y T3: Tratamiento 3, galletas con 15% de harina de BMC. Medias con letras distintas difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

Los resultados del análisis sensorial mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las formulaciones en todos los atributos evaluados. En cuanto a la textura, la muestra T0 (0%) obtuvo la mayor aceptación (5.80), seguida por la T3 (15%) con 5.61, mientras que las T1 (5%) y T2 (10%) presentaron valores inferiores (5.51 y 5.47, respectivamente). En el sabor, la muestra T3 (15%) fue la mejor evaluada (5.87), siendo estadísticamente diferente de las demás, mientras que las formulaciones T1 (5%) y T2 (10%) obtuvieron la menor aceptación. Respecto al olor, nuevamente la muestra T3 (15%) fue la preferida (5.75), seguida por la T0 (0 %) (5.64), mientras que las T2 (10%) y T1 (5%) presentaron valores más bajos. En cuanto al color, la muestra T0 (0%) fue la más aceptada (5.94), y la T2 (10%) mostró el menor agrado (5.13). Estos datos indican que las formulaciones con menor porcentaje de sustitución de harina de bagazo de malta cervecera presentaron los mayores niveles de aceptación sensorial, sin embargo, en algunos atributos, los niveles más altos de sustitución no afectaron negativamente las características organolépticas del producto. En estudios similares donde se buscó fortificar galletas con harina de moringa y harina de suero láctico, se conservaron tendencias similares al sustituir parcialmente la harina de trigo, ya que de forma similar Espinal et al. (2023) reporta que el incremento en el nivel de sustitución afecta negativamente la aceptabilidad sensorial, especialmente en atributos como color y sabor. Sin embargo, en el caso del BMC el tratamiento con mayor sustitución generó mayor

aceptación ya que el BMC posee aromas y sabores agradables, lo cuales son generados durante el maltado y tostado, en cambio la harina de moringa presentan compuestos fenólicos y pigmentos que generan sabores amargos y notas herbales (Kashyap et al., 2022) lo que disminuye la aceptación conforme aumenta la concentración. En cuanto la textura, en ambos estudios la sustitución parcial interfiere con la estructura del producto causando mejor aceptación en los productos con un nivel de sustitución menor. De forma similar en el atributo del color, ya que el aumento del nivel de sustitución provoca oscurecimiento en las galletas, lo que influye de manera negativa en la percepción del consumidor. En el caso de BMC, esto se puede atribuir a los compuestos de Maillard y pigmentos del grano, mientras que en la moringa se puede relacionar con la presencia de clorofilas y compuestos fenólicos (Kashyap et al., 2022).

9. Conclusiones

Como resultado de los estudios realizados se puede concluir que la harina de BMC presentó un alto porcentaje de fibra mientras que los carbohidratos disponibles son menores en comparación con la harina de trigo. El color que presenta esta harina es un tono marrón amarillento debido al malteado, secado, proceso por el cual paso el grano. La harina de bagazo de malta cervecera (BMC) manifestó la presencia de compuestos fitoquímicos tales como insaturaciones, sesquiterpenlactonas, saponinas y cumarinas, lo que comprueba que la harina obtenida mantiene metabolitos secundarios a pesar del proceso cervecero. En cuanto los resultados microbiológicos, estos cumplen con los límites establecidos por la NOM-247-SSA1-2008 ya que no se detectó la presencia de coliformes indicando buenas prácticas de higiene, en cuanto a hongos y levaduras se detectaron valores bajos en el T3 de 50-75 UFC/g rango que se encuentra dentro de los límites de la norma. La actividad de agua (a_w) de agua en las galletas se mantuvo dentro de los rangos adecuados al producto de acuerdo con la NMX-F006-1983, lo que indica que la adición de la harina de BMC no afectó la disponibilidad de agua libre. La acidez aumentó de manera notable, sin embargo, el pH se mostró ligeramente ácido (5.98-6.18). De igual forma se puede afirmar que la adición de la harina de BMC mostró cambios en la textura de las galletas. Los tratamientos T1 y T2 tuvieron una reducción en la dureza tomando como referencia al control de igual forma disminuyó el trabajo de fractura lo que señala una textura más crujiente pero también más frágil. Por otro lado, el tratamiento T3 tuvo un aumento en dureza, lo que muestra

que la cantidad elevada de fibra actúa como refuerzo en la estructura de la galleta. Dentro del análisis sensorial se reveló que los tratamientos con una incorporación moderada de harina de BMC (T1 y T2) presentan mayor aceptación en los atributos de textura y sabor. Por lo que la incorporación hasta un 10% representa una alternativa tecnológicamente y sensorialmente aceptables para la elaboración de galletas, contribuyendo al aprovechamiento de un residuo de la industria cervecera.

10. Bibliografía

Aljobair, M. O. (2022). Physicochemical properties and sensory attributes of cookies prepared from sorghum and millet composite flour. *Food Science & Nutrition*, 3417. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/fsn3.2942>.

Almaguer, C., Schönberger, C., Gastl, M., K. Arendt, E., & Becker, T. (Septiembre de 2014). Humulus lupulus. *Journal of the Institute of Brewing*, 289-314. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/jib.160>.

Amorim, M., Pereira, J., Gomes, D., Dias Pereira, C., Pinheiro, H., & Pintado, M. (2016). Nutritional ingredients from spent brewer's yeast obtained by hydrolysis and selective membrane filtration integrated in a pilot process. *Journal of Food Engineering*, 42- 47. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.032>.

AOAC International . (2009). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (18.^a ed., Method 923.03).

AOAC International. (2010). *Official Methods of Analysis of AOAC International* . (18.^a ed., Method 920.39).

AOAC International. (2010). *Official Methods of Analysis of AOAC International* . (18.^a ed., Method 962.09).

- AOAC International. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (21st ed., Method 925.09).
- Arepally, D., Reddy, R., Goswami, T., & Datta, A. K. (2020). Biscuit baking: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 109726. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109726>.
- Atzle, J. J., Sahin, A. W., Gallagher, E., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2021). Investigación de diferentes ingredientes de fibra dietética para el diseño de una formulación de pan enriquecido con fibra y bajo en FODMAPs a base de almidón de trigo y gluten vital. *European Food Research and Technology*, 1939-1957. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03762-6>.
- Bazán Aliaga, G., Gabrielli González, R., Acosta Chinchayhuara, D., & Rojas Castillo, J. (2015). Cookies of good acceptability from flour rice (*Oriza sativa*) flour and potato (*Solanum tuberosum*) flour var. parda pastosa. *Agroindustrial Science*, 69-75. Obtenido de <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.01.07>.
- Bernal Morales, L. A., Cocio Radilla, R. B., Galindo Ramos, G., & Gama Gálvez, M. (2024). Caracterización fisicoquímica de harina de cáscara, semilla, pulpa y germinado de inga jinicuil nativa del Estado de Guerrero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 4568. Obtenido de https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11667.
- Cabrera Mera, V. J., Benavides Panchana, J. I., Cortez Espinoza, A. C., Aldas Morejon, J. P., & Revilla Escobara, K. Y. (2023). Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de chocho (*Lupinus mutabilis*) en la elaboración de galletas. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 25. Obtenido de <https://doi.org/10.23850/24220582.5736>.
- Camacho Villanueva, C., & Grande Tovar, C. (2021). Bagazo de malta (BSG): Biorresiduo con potencial aplicación a nivel funcional, material y energético. *Prospectiva*, 1-17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496282721012.pdf>.

- Carillo Nieves, D., & Saldarriaga Hernández, S. C. (26 de Abril de 2024). *Bagazo cervecero: desecho que se transforma en etanol y pizza*. Obtenido de TecScience: <https://tecscience.tec.mx/es/divulgacion-ciencia/bagazo-cerveceo/>
- Castillo Cordova, S. V., & Rojas Hidalgo, A. V. (2025). *Sustitución parcial de harina de trigo por la harina de bagazo cervecero en la elaboración de galletas enriquecidas*. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstreams/13fc351d-0140-490c-aea3-61eb08c39bb6/download>: Universidad Nacional del centro del Perú.
- Castillo Martinez, W. E., & Paucar Menacho, L. M. (2021). Comportamiento reológico de masas de panificación de harina de trigo sustituidas con harinas de quinua y cañihua germinadas. *INGnosis*, 25-33. Obtenido de <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v7i1.2102>.
- Castro, R., Díaz, A., Durán Guerrero, E., & Lasanta, C. (2022). Influence of different fermentation conditions on the analytical and sensory properties of craft beers: Hopping, fermentation temperature and yeast strain. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1-10. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104278>.
- Celus, I., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2006). The effects of malting and mashing on barley protein extractability. *Journal of Cereal Science*, 203-211. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.003>.
- COFEPRIS. (2022). *Catálogo oficial de medios de cultivo*. Obtenido de Secretaria de la salud: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/791017/Cat_logo_oficial_de_medios_de_cultivo.pdf
- Compaore Sereme, D., Hama Ba, F., Wend-bénédo Tapsoba, F., Manner, H., Henry Maina, N., H Dicko, M., & Sawadogo Lingani, H. (2023). Production and sensory evaluation of composite breads based on wheat and whole millet or sorghum in the presence of *Weissella confusa* A16 exopolysaccharides. *Heliyon*, 3. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13837>.

- Culetu, A., Susman, I. E., Eglantina Duta, D., & Belc, N. (2021). Nutritional and Functional Properties of Gluten-Free Flours. *Applied Sciences*, 6283. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app11146283>.
- Custódio Trevizan, J., de Souza Bido, G., Ferrari, A., & Fernanda Felipe, D. (2021). Nutritional Composition of Malted Barley Residue from Brewery. *Journal of Management and Sustainability*, 27-34. Obtenido de <https://doi.org/10.5539/jms.v11n1p27>.
- Delcour, J. A. (2010). *Principles of Cereal Science and Technology (3rd ed.)*. St. Paul Minnessota: (3rd ed.). AACC International Press. .
- Dirección General de Normas. (1983). *Alimentos - Galletas (NMX-F-006-1983)*, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Domínguez Hernández, C. J. (2024). *Diseño de investigación para la obtención de harina de cascarilla del grano de cacao (theobroma cacao l.) y elaboración de un producto de panificación en una planta artesanal de productos de chocolate*. (Trabajo de graduación de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio Institucional USAC.
- Duah Osei, E., Silotry Naik, A., Kinsella, G., Delaney, T., & Kirwan, S. (2025). Potential of Brewer's spent grain bioactive fractions as functional ingredients for companion and farm animal foods – A review. *Applied Food Research*, 1- 27. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101138>.
- Espinal Carrión, T., Gracia Sampedro, G. G., Domínguez Rico, S. A., Ventura Montes , C. M., & Adriana ázquez , A. (2023). Formulación de galletas fortificadas por sustitución parcial de harina de moringa y suero láctico. *Archivos latinoamericanos de nutrición* , 32-41.
- Falcón V, M., Barrón H, J. M., Romero B, A. L., & Domínguez S., M. F. (2011). Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de dietas con alto contenido de fibra dietaria. *Revista chilena de nutrición*, 369-375. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182011000300012>.

- Fangel, J. U., Eiken, J., Sierksma, A., Schols, H. A., Willats, W. G., & Harholt, J. (2018). Tracking polysaccharides through the brewing process. *Carbohydrate Polymers*, 465 - 473. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.053>.
- Farcas, Anca Corina ; Socaci, Sonia Ancuța ; Chiș, María Simona; Pop, Oana Lelia ; Fogarasi, Melinda ; Păucean, Adriana; Igual, Marta; Michiu, Delia. (2021). Reintegration of Brewers Spent Grains in the Food Chain: Nutritional, Functional and Sensorial Aspects. *Plants*, Obtenido de <https://doi.org/10.3390/plants10112504>.
- Farzaneh, V., Ghodsvali, A., Bakhshabadi, H., Zare, Z., & Carvalho, I. (2017). The impact of germination time on the some selected parameters through malting process. *International Journal of Biological Macromolecules*, 663-668. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.052>.
- Fernández Salvador, N. (2017). Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo sarraceno y tef. *Universidad de Valladolid*, 10. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/29440>.
- Ferreira Cardoso, F., Ramirez Ascheri, D., & Piler de Carvalho, C. (2014). Propiedades reológicas y de adsorción de agua de harina extrudida de arroz y bagazo de cebada. *Rev. Ceres*, 313-322. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300003>.
- Friero, I., Martínez Subirà, M., Paz Romero, M., & Moralejo, M. (2024). Improving functional and nutritional profiles of barley flours with diverse starch types through pearling. *Food Chemistr*, 140611. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140611>.
- Galvis, L., G. Bertinetto, C., Holopainen , U., Tamminen, T., & Vuorinen, T. (2015). Structural and chemical analysis of native and malted barley kernels by polarized Raman spectroscopy (PRS). *Journal of Cereal Science*, Pages 73-80. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.008>.
- Garba, N. F. (2025). The Beneficial Roles of Microbes in Food Production and Preservation: A Review. *International Journal of Science for Global Sustainability*, 76-92. Obtenido <https://doi.org/10.57233/ijsgs.v11i1.784>.

- Garzón, A. G., Ferreira, M., Cian, R., Oliva, M., D'Alessandro, M., & Silvina R. , D. (2022). Microencapsulated bioactive peptides from brewer's spent grain promotes antihypertensive and antidiabetogenic effects on a hypertensive and insulin-resistant rat model. *Journal of Food Biochemistry*, Obtenido de <https://doi.org/10.1111/jfbc.14283>. Obtenido de Journal of Food Biochemistry: <https://doi.org/10.1111/jfbc.14283>
- Gerardos Conde , C., Gutiérrez Quintana , J., & Castro Pomares , K. (2021). Elaboración de alimento funcional tipo galletas a base de harina de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 48-60. Obtenido de <https://doi.org/10.5281/zenodo.4661965>.
- Hasmadi, M. N. (2019). Functional properties of composite flour: a review. *Food Reserarch*, 1820-1831. Obtenido de [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(6\).419](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).419).
- Henkin, J. M., Henkin, J., Mainali, K., Sharma, K., Yadav, M., Ngo, H., & Sarker, M. (s.f.). *A review of chemical and physical analysis, processing, and utilization of brewer's spent grain*. Obtenido de MDPI.Multidisciplinary Digital Publishing Institute: <https://doi.org/10.3390/biomass5030042>
- Herrero Fernández, T. (2015). *Proyecto de una industria cervecera en el municipio de Baltanás (Palencia)*. Obtenido de Universidad de Valladolid Campus de Palencia: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/16230/1/TTFG-L1251.pdf>
- Hoseney, R., & Rogers, D. (2009). *The formation and properties of wheat flour doughs*. Obtenido de Critical Reviews in Food Science and Nutrition 29 (2), 73–93.: <https://doi.org/10.1080/10408399009527517>
- Huaraca Zarate, M., & Taquire Rosales, M. (2025). *Elaboración y aceptabilidad de galletas fortificadas con amaranto (Amaranthus caudatus) y suero de leche para loncheras escolares de la*. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle). Repositorio institucional. (pp. 1, 3). Obtenido de <https://repositorio.une.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bd0f66ce-3a8c-438e-ac8e-634b991b404e/content>. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN Enrique

- Guzmán y Valle: <https://repositorio.une.edu.pe/bitstreams/bd0f66ce-3a8c-438e-ac8e-634b991b404e/download>
- Ibidapo, O., Henshaw, F., & Shittu, T. (2023). Nutritional and phytochemical characterization of selected flours as potential functional food ingredients in baking. *Ceylon Journal of Science*, 51-61, Obtenido de doi:10.4038/cjs.v52i1.8104.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 2085: Galletas. Requisitos*, (5ta rev.). normalizacion.gob.ec.
- International, A. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (21.^a ed., Method 920.123).
- Iorizzo, M., Coppola, F., Letizia, F., Testa, B., & Sorrentino, E. (2021). Role of Yeasts in the Brewing Process: Tradition and Innovation. *Processes*, 9 (5), 83. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/pr9050839>
- Jaeger, A., Zannini, E., Sahin, A. W., & Arendt, E. K. (2021). Propiedades, extracción y aplicaciones de la proteína de la cebada, con especial atención a la proteína del grano de cebada usado en la elaboración de cerveza. *FOODS*, 1389. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods10061389>.
- Kashyap, P., Kumar, S., Singh Riar, C., Jindal, N., Baniwal, P., Guiné, R. P., . . . Kumar, H. (2022). Recent Advances in Drumstick (*Moringa oleifera*) Leaves Bioactive Compounds: Composition, Health Benefits, Bioaccessibility, and Dietary Applications. *Antioxidants*, 402. Obtenido de doi: 10.3390/antiox11020402.
- Kieran M. Lynch, E. J. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Institute of Brewing & Distilling*, 552-568.
- Ledley, A., Elias, R., & Cockburn, D. (2023). Evaluating the Role of Mashing in the Amino Acid Profiles of Worts Produced from Gluten-Free Malts. *Department of Food Science, College of Agricultural Sciences, The Pennsylvania State University, University Park*.

- Li, J., & Monje Galván , V. (2023). Estudios in vitro e in silico de saponinas antimicrobianas: Una revisión. *Processes*, 11.
- Li, M., Zhang, Y., Xiangrong , Y., Wang, Y., Zhou, K., Wei , P., & Wei, L. (2023). Evaluación de las propiedades funcionales de la harina compuesta de trigo y yuca. *Foods*, 3585. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods12193585>
- Lončar, M., Jakovljević, M., Šubarić, D., Pavlić, M., Služek, V. B., Cindrić, I., & Molnar, M. (2020). Coumarins in Food and Methods of Their Determination. *Foods*, 645. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods9050645>.
- López Linares , E. M. (2022). *Diseño de un programa de prerrequisitos del appcc en una microcervecería en colombia y su impacto como medida preventiva para la contaminación en cerveza artesanal, en tiempos de la covid 19*. Universidad para la Cooperación Internacional (UCI): Obtenido de <https://omeka.campusuci2.com/biblioteca/files/original/59bb4d321fa80681805b4d1826cf591e.pdf>.
- Luque-Vilca, O. M., Paredes Erquinigo, J. Y., Quille Quille , L., ChoqueRivera, T. J., Cabel Moscoso, D. J., Rivera Ashqui, T. A., & Silva Paz, R. J. (2024). Utilization of Sustainable Ingredients (Cañihua Flour, Whey, and Potato Starch) in Gluten-Free Cookie Development: Analysis of Technological and Sensorial Attributes. *Foods*, 13. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods13101491>.
- Lynch, K., Steffen, E., & Arendt, E. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Jornal of The Institute of Brewing*, 553-568. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/jib.363>.
- Mancebo, C. M., Picón , J., & Gómez, M. (2015). Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 264 - 269. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.057>.
- Martínez Muños, A. (2016). *Análisis comparativo de compuestos bioactivos en cerveza artesanal y cerveza industrial*. Universidad De Lleida Facultad De Medicina Grado En Nutrición

- Humana Y Dietética. Obtenido de <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/d34f7037-c901-4ada-bee4-275e2294bae0/content>.
- Mora de Alba , M., Tirado González, D. N., Quezada Tristán, T., Guevara Lara , F., Jáuregui Rincón, J., Larios González, R., & Tirado Estrada, G. (2018). Calidad nutricional del bagazo de manzana ensilado con fuentes nitrogenadas orgánicas e inorgánicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 229-235. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/2631/263158448018/263158448018.pdf>.
- Naibaho, J., & Korzeniowska, M. (2021). The variability of physico-chemical properties of brewery spent grain from 8 different brewerie. *Heliyon*, Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06583>.
- Neri González, M. C. (2016). *Aprovechamiento del camote (Ipomoea batatas) para el desarrollo de harinas funcionales y su aplicación en la elaboración de muffins reducidos en gluten* . (Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/ae29371d-0a7a-48c1-b42f-8b36fe6bb7a4/content>
- Nicolai, M., Palma, M. L., Reis, R., Amaro, R., Fernandes, J., Gonçalves, E., . . . Pereira, P. (2025). *Assessing the Potential of Brewer's Spent Grain to Enhance Cookie Physicochemical and Nutritional Profiles*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods14010095>
- NOM-F-317-5-1978. (1978). Determinacion de pH en alimentos. *Secretaría de Salud*.
- Normalización y Certificación, A. C. (2013). *limentos - Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas – Método potenciométrico – Método de prueba* . (NMX-F-317-NORMEX-2013). Diario Oficial de la Federación. <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-f-317-normex-2013/>.
- Nyhan, L., Sahin , A., Schmitz, H., Siege, J., & Arendt, E. (2023). Brewers' spent grain: An unprecedented opportunity to valorize a major brewing by-product. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 10543-10564. Ontenido de

- <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02489>. Obtenido de *Frontiers in Nutrition*, 10, 111: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.000111>
- Olivares Galván, S., García, M. C., & Marina, M. L. (2022). Extraction of valuable compounds from brewing residues: Malt rootlets, spent hops, and spent yeast. *Trends in Food Science & Technology*, 181-187. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.002>.
- Ostrowska-Ligeza, E. C.-P.-W. (2023). Impact of dietary fiber and plant proteins on the quality of cookies. Obtenido de *Foods*, 12(15), 3045.: <https://doi.org/10.3390/foods12153045>.
- Pagenstecher, M., Maia, C., & Andersen, M. L. (2021). Retention of Iron and Copper during Mashing of Roasted Malts. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 138–144. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/03610470.2020.1795609>.
- Pantoja Tirado , L., Prieto Rosales , G., & Aguirre Vargas , E. (2020). Caracterización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la harina de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) para su industrialización. *Revista de Investigación Científica Tayacaja*, 76-83. Obtenido de doi: 10.46908/rict.v3i1.72.
- Raaman, N. (2006). *Phytochemical Techniques*. New Delhi: New India Publishing Agency.
- Rachwał, K., Waśko, A., Gustav, K., & Polak Berecka, M. (2020). Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ*, Obtenido de <https://peerj.com/articles/9427/>.
- Raimilla, M., Fernández Ortúzar, J., González Esparza , A., & Ravanal, M. (2023). Bagazo producido en las industria cervecera: Alternativas de valorización y reutilización. *AGROSUR Universidad Austral de Chile*, 33-42. Obtenido de <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/7240/8288>.
- Reyna Zurita, E. (2020). *Parámetros de calidad para cerveza artesanal*. México: Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad De Química. Obtenido de <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2021/noviembre/0820035/Index.html>.

- Rodríguez González, I., Benavides Guevara, R. M., Jurado, B. K., Marulanda, M., & Zuluaga Domínguez, C. (2023). Propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales en galletas elaboradas con trigo, avena y quinua. *Ingeniería y Competitividad Revista Científica y Tecnológica*, 25(2). Obtenido de <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.11242>.
- Salinas López, C. (2014). *Aprovisionamiento interno en pastelería*. (5.ª ed.). Editorial Elearning, S.L..
- Santacruz Salas, A. P., Antunes, M. L., Gomez Herrera, S., Velez Lozano, J. A., & Mancini, S. D. (2023). Sostenibilidad en la industria cervecera: una revisión crítica de los residuos generados y su gestión. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 4. Obtenido de <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2167>.
- Santos, M., Ranalli, N., Orjuela Palacio, J., & Zaritzky, N. (2024). Brewers spent grain drying: Drying kinetics, moisture sorption isotherms, bioactive compounds stability and *Bacillus cereus* lethality during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 111796. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111796>.
- Schinka Rodríguez, C. (2023). *Insumos para el desarrollo de cerveza artesanal reducida en carbohidratos*. Tesis de maestría, Universidad de la República, Facultad de Ciencias. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/50260/1/uy24-21683.pdf>.
- Secretaría de Salud. (2017). *NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas–Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.*, Diario Oficial de la Federación.
- Sharma, S., Katyal, M., Singh, N., Mahendru Singh, A., & Kumar Ahlawat, A. (2022). Comparison of effect of using hard and soft wheat on the high molecular weight-glutenin subunits profile and the quality of produced cookie. *Journal of Food Science and Technology*, 2545–2561. Obtenido de doi: 10.1007/s13197-021-05272-5.

- Stachnik, M., & Jakubowski, M. (2020). Multiphase model of flow and separation phases in a whirlpool: Advanced. *Journal of Food Engineering*, 1-10. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109846>
- Tian W, Z. Y. (2022). A comprehensive review of wheat phytochemicals: From farm to fork and beyond. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2274-2308. Obtenido de doi: 10.1111/1541-4337.12960. .
- Tóth, T. S. (2019). *Functional properties of cookies enriched with millet and ginger*. Obtenido de *Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 5114–5123: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03968-y>
- Valera Naranjo, D. (2 de Julio de 2019). *Cómo elaborar cerveza artesana, explicado paso a paso*. Obtenido de INSTALL BEER : <https://installbeer.com/blogs/diariocervecero/como-elaborar-cerveza-artesana?srsItid=AfmBOop1k1ITAHGHedUNDbYQZuuFjIGOnWTI55-FGiS1iokZ6r-zR9EP>
- Vasas, M., Tang, F., & Hatzakis, E. (2021). Application of NMR and Chemometrics for the Profiling and Classification of Ale and Lager American Craft Beer. *Foods*, 10(4), 807. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods10040807>.
- Vilcanqui Pérez, F., & Vílchez Perales, C. (2017). *Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud*. Obtenido de ALAN Revista de Nutrición: https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/2/art-10/?utm_source=chatgpt.com
- Wang, S., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 568-585. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>.
- Zegarra, S., Muñoz, A. M., & Ramos Escudero, F. (2019). Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y evaluación de la aceptabilidad sensorial. *Revista chilena de nutrición*, 561-570. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561> .

Zhou, X., Wu, S., & Sun, X. (2025). The Combination of Enzymes in the Enhancement of Fibre-Enriched Product Quality: Effects of the Interactions of Dietary Fibre, Gluten Proteins, and Starch Granules on Dough Rheological Properties and Bubble Dynamics. *Foods*, 14. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods14223963>.

Anexos

Anexo I. Formato aplicado para el análisis sensorial de nivel de agrado

Se evalúan los cuatro tratamientos de las galletas a analizar (T0: 0%, T1: 5%, T2: 10% y T3: 15% de sustitución de harina de bagazo de malta cervecera). Cada muestra fue codificada para ser analizada por jueces no entrenados indicando su nivel de agrado con base en atributos como color, sabor y textura.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Ingeniería en Alimentos



NOMBRE: _____

FECHA: _____ SEXO: F ☐ M ☐

EDAD: _____ ESCOLARIDAD: _____

LUGAR DE PROCEDENCIA: _____

Frentes a usted hay cuatro muestras codificadas de galletas, las cuales debe analizar de izquierda a derecha, marcar con una X el nivel de agrado que refleje su opinión de acuerdo al atributo evaluado.

ATRIBUTO	CÓDIGOS DE LAS MUESTRA			
COLOR				
Nivel de Agrado	765	945	273	481
Gusta mucho				
Gusta moderadamente				
Gusta poco				
Me es indiferente				
Disgusta un poco				
Disgusta moderadamente				
Disgusta mucho				

ATRIBUTO	CÓDIGOS DE LAS MUESTRA			
OLOR				
Nivel de Agrado	765	945	273	481
Gusta mucho				
Gusta moderadamente				
Gusta poco				
Me es indiferente				
Disgusta un poco				
Disgusta moderadamente				
Disgusta mucho				

ATRIBUTO	CÓDIGOS DE LAS MUESTRA			
SABOR				
Nivel de Agrado	765	945	273	481
Gusta mucho				
Gusta moderadamente				
Gusta poco				
Me es indiferente				
Disgusta un poco				
Disgusta moderadamente				
Disgusta mucho				

ATRIBUTO	CÓDIGOS DE LAS MUESTRA			
TEXTURA EN BOCA				
Nivel de Agrado	765	945	273	481
Gusta mucho				
Gusta moderadamente				
Gusta poco				
Me es indiferente				
Disgusta un poco				
Disgusta moderadamente				
Disgusta mucho				

COMENTARIOS:

MUCHAS GRACIAS

Anexo II Preparación de medios de cultivo para el análisis microbiológico.

Para el análisis microbiológico se prepararon los medios de cultivo Agar Cuenta Estándar, Agar MacConkey y Agar Papa Dextrosa, siguiendo las indicaciones establecidas por el fabricante. Cada medio se preparó usando 500 mL de agua destilada en matraces Erlenmeyer con capacidad de 1000 mL, calentándose con agitación hasta lograr su completa disolución. Posteriormente, todos los medios fueron esterilizados en autoclave a 121°C por 15 min antes de ser vertidos en cajas Petri.

Tabla 12. Formulación de los medios de cultivo utilizados en los análisis microbiológicos.

Medio de cultivo	Cantidad de medio deshidratado por 500 mL de agua destilada
Agar Cuenta Estándar (PCA)	9.46 g
Agar MacConkey	20.03 g
Agar Papa Dextrosa (PDA)	15.61 g