

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Proyecto final de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos para optar por el grado de Licenciada en Ingeniería de Alimentos

Aprovechamiento del desecho de malta generado en la producción de una cerveza comercial, para la elaboración de una harina alta en fibra y proteína apta para su uso como materia prima para la producción de pan reducido en sodio

Nicole de Jesús Heymans Smith

Carné: B43391

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2021

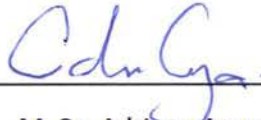
Tribunal examinador

Proyecto final de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Elaborado por:

Nicole de Jesús Heymans Smith

Aprobado por:



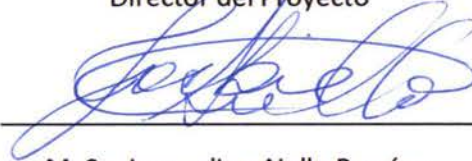
M. Sc. Adriana Araya Morice

Presidente del Tribunal



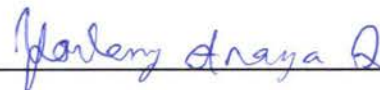
M. Sc. Pedro Vargas Aguilar

Director del Proyecto



M. Sc. Jacqueline Aiello Ramírez

Asesora del Proyecto



MGA. Yorlenny Araya Quesada

Asesora del Proyecto



Lic. Ana Ligia Vargas Alfaro

Profesora Designada

Derechos de propiedad intelectual

Los resultados del proyecto se consideran de carácter público.

Agradecimientos

A Dios, por todas las bendiciones y oportunidades que me ha regalado hasta el día de hoy, y por todas las que están por venir.

A papá y mamá, por darle siempre prioridad a mi educación y felicidad, por apoyarme en cada una de mis decisiones y guiarme con respeto y amor, por demostrarme siempre lo orgullosos que están de mí y acompañarme incondicionalmente cada día de mi vida.

A Jean Paul y Jou, por no fallar nunca con sus consejos, por escucharme, mostrarme diferentes puntos de vista y ayudarme a solucionar siempre. Por demostrarme que con esfuerzo se llega muy lejos y animarme para ser cada día más responsable en todos los ámbitos de mi vida.

A Philippe, por hacerme ver siempre lo bonita que es mi carrera, por estar permanentemente disponible para ayudarme, aunque tuvieras que escuchar 15 min de explicaciones previas para una simple pregunta. Por enseñarme a estudiar y a darle prioridad a mi salud mental.

A Diego, por acompañarme en casi toda mi vida de U, por aprender a tener citas de reportes y estudio, pero saber cuándo sacarme por un heladito para el corazón. Por siempre creer en mí, motivarme en los momentos difíciles y sentir mis triunfos como tuyos.

A Abuelita, por ser ejemplo de fuerza, independencia y valor. Por motivarme siempre a estudiar y ser un apoyo inmenso todos los años que estuviste aquí.

A tía Glori y Moi, por enseñarme el camino de la ciencia y la ingeniería y acompañarme en el proceso de aprender a ser universitaria, por aconsejarme desde antes de entrar a la U y hasta el día de hoy. Y a Constanza por darme esos respiros de academia y recordarme lo simple y bonita que es la vida.

A tía Mayi, por ser un ejemplo de vida, por todos tus consejos, historias y compañía. Por darme posada y comida tan deliciosa como las conversadas que me refrescaban la vida para seguir la semana como nueva.

A Rox, Fer, Kim, Nati, José, Fabián y Ronald, por todas las trabajadas y estudiadas que nos dimos, por todos los almuerzos, tardes de helados y cumpleaños que compartimos. Sin ustedes la U no hubiera sido lo mismo: la mejor etapa de mi vida, y ustedes, de lo más bonito que me dejó.

Al profe Pedro, por introducirme este proyecto tan bonito y no dejarme perder el norte y el amor por esta investigación. Por dejarme la responsabilidad en la toma de decisiones, pero guiarme para superar los retos que se presentaron durante el proceso.

A la profe Jackie, por ser parte tan importante de mi vida en la U, por enseñarme tantas cosas, tanto en el ámbito académico como en el personal, y ser tan accesible, sincera y colaboradora en todo momento. Por tanto apoyo y tanto cariño.

A la profe Yorle, por no dudar en decirme lo que necesito escuchar, aunque no sea lo más bonito. Por motivarme a avanzar, escucharme, apoyarme y compartir conversadas de la vida. Por ser tan práctica y siempre tener una solución a mano y hacerme ver las cosas de una manera más sencilla y menos trágica.

A todos los profes que me enseñaron con tanta vocación y cariño, que cultivaron mi amor por mi carrera y mis ganas de seguir aprendiendo cada día más.

A Giova, Luis, Camacho y Alonso, por siempre estar dispuestos a ayudar y enseñarme tantísimo en mi paso por la U, gracias por su apoyo incondicional.

A todos mis compañeros y amigos con los que me crucé en la U, que me ayudaron a crecer y a convertirme en la persona y profesional que soy el día de hoy.

Índice general

Tribunal examinador	1
Derechos de propiedad intelectual.....	2
Agradecimientos	3
Índice general.....	5
Índice de figuras	8
Índice de cuadros	9
Lista de abreviaturas	11
Resumen	13
1. Justificación.....	15
2. Objetivos	18
2.1 General.....	18
2.2 Específicos.....	18
3. Marco teórico.....	19
Utilización de desechos de producciones industriales para la elaboración de alimentos funcionales.....	19
Cerveza.....	20
1. <i>Generalidades</i>	20
2. <i>Proceso de elaboración</i>	20
3. <i>Subproductos</i>	22
Bagazo como subproducto del proceso de maceración de la cerveza	23
1. <i>Definición</i>	23
2. <i>Composición de la materia prima: cebada</i>	23
3. <i>Procesos enzimáticos en la maceración</i>	24
4. <i>Composición del subproducto (bagazo)</i>	25
5. <i>Usos y aplicaciones</i>	27
6. <i>Proceso de estabilización</i>	27
Pan	28
1. <i>Generalidades</i>	28
2. <i>Principales materias primas</i>	28
3. <i>Otras materias primas</i>	30

4.	<i>Composición nutricional</i>	31
5.	<i>Características físicas del pan</i>	32
	Potenciales beneficios a la salud por la incorporación de bagazo de cerveza en pan	35
1.	<i>Proteína</i>	35
2.	<i>Fibra dietética</i>	36
3.	<i>Productos bajos en sodio</i>	38
	Desarrollo de productos	40
1.	<i>Evaluación sensorial</i>	40
2.	<i>Estabilidad en el almacenamiento</i>	40
4.	Materiales y métodos	41
4.1	Localización	41
4.2	Materia prima	41
a.	<i>Bagazo</i>	41
b.	<i>Ingredientes</i>	41
4.3	Descripción de los equipos	42
4.4	Preparación de muestras y métodos de análisis.....	42
a.	<i>Tratamiento de la materia prima</i>	42
b.	<i>Pruebas preliminares en panificación para la selección del desecho de cerveza)</i>	43
4.5	Pruebas definitivas.....	45
a.	<i>Caracterización de la composición físico-química de las fracciones del bagazo seco y molido</i>	45
5.	Resultados y discusión	50
	<i>Caracterización de la composición fisicoquímica de las fracciones del bagazo seco y molido</i>	50
	Análisis de las características fisicoquímicas de un pan de molde reducido en sodio con sustituciones de 0, 5, 10 y 15% de HBC	60
	Comparación del efecto de los grados de sustitución (0, 5, 10 y 15%) de HBC sobre el agrado de un pan reducido en sodio	65
	Estudio de almacenamiento	68
6.	Conclusiones	71
7.	Recomendaciones.....	72
8.	Referencias bibliográficas	73
8.1	Bibliografía citada	73

8.2	Bibliografía consultada.....	84
9.	Apéndices.....	85
9.1	Amilogramas de la HT y HBC.....	85

Índice de figuras

Figura 1. Estructura física de un cereal (Latham, 2002)	23
Figura 2. Composición química promedio de la cebada en base seca (elaboración propia).....	24
Figura 3. Composición química del bagazo en base seca. Adaptación de Lynch et al., 2016.....	26
Figura 4. Diagrama de la prueba de perfil de textura (Hleap & Velasco, 2010)	33
Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención de bagazo seco y molido	43
Figura 6. Proceso de elaboración de pan de molde reducido en sodio (Leandro, 2019).	44
Figura 7. Fracciones retenidas en el tamiz #25 (>710 μm) y #35 (710-500 μm) respectivamente obtenidas en el proceso de tamizado del bagazo seco y molido.....	51
Figura 8. Fracciones retenidas en el tamiz #45 (500-355 μm), #60 (355-250 μm), #80 (250-180 μm), #120 (180-125 μm) y en el plato (<125 μm) respectivamente, obtenidas en el proceso de tamizado del bagazo seco y molido	52
Figura 9. Rebanadas de pan reducido en sodio aplicando sustituciones de 0, 5, 10 y 15% de HBC respectivamente	63
Figura 10. Pan reducido en sodio elaborado con diferentes sustituciones de HBC, de izquierda a derecha: 0, 5, 10 y 15%	65
Figura 11. Valores promedio de agrado general para cada nivel de sustitución de HBC para cada conglomerado. A) n=49, B) n=28 y C) n=23. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p<0,05$).....	66
Figura 12. Amilogramas realizados a la HT (izquierda) y HBC (derecha) por triplicado utilizando un microviscoamilógrafo de Brabender.....	85

Índice de cuadros

Cuadro I. Función y rango de temperatura óptima de las principales enzimas endógenas de la malta involucradas en el proceso de elaboración de cerveza.	25
Cuadro II. Composición nutricional general de un pan blanco de molde.	32
Cuadro III. Materias primas utilizadas en la elaboración de pan de molde con sustitución de HBC.	41
Cuadro IV. Equipos utilizados en el tratamiento de la HBC y la elaboración de pan de molde con sustitución de HBC.	42
Cuadro V. Formulación base de un pan reducido en sodio utilizada para la elaboración de panes con sustituciones de los dos desechos de producción de cerveza (bagazo y lodos de la fermentación).	45
Cuadro VI. Porcentaje de masa retenida en cada uno de los tamices durante el proceso de tamizado para la selección del tamaño de partícula de la HBC (n=14).	50
Cuadro VII. Composición química de la HBC en base húmeda obtenida por medio de análisis de laboratorio del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA).	53
Cuadro VIII. Composición química en base seca de la HBC obtenida por medio de análisis de laboratorio del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) y de la HT reportada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S. Department of Agriculture, 2019) transformada a base seca.	55
Cuadro IX. Contenido de almidón resistente en la HBC determinada utilizando el kit comercial Megazyme mediante el método enzimático 2002.02 de la AOAC y de la harina de trigo integral (HTI) estudiada por Arcila & Rose (2015) utilizando el mismo kit, expresados como gramos por cada 100 gramos de harina.	56
Cuadro X. Capacidad de retención de agua, viscosidad inicial, temperatura de gelatinización, pico de viscosidad, viscosidad final de HT y HBC para el análisis de su comportamiento durante el horneado.	58
Cuadro XI. Dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad de pan reducido en sodio con cuatro sustituciones de HBC: 0, 5,10 y 15%.	60
Cuadro XII. Volumen específico en mL por gramo de masa de pan reducido en sodio con cuatro sustituciones de HBC: 0, 5,10 y 15%.	62

Cuadro XIII. Parámetros de color L, a* y b* y color asociado a estos valores de la corteza de pan reducido en sodio con cuatro sustituciones de HBC: 0, 5,10 y 15%.	64
Cuadro XIV. Probabilidad asociada a los factores tiempo, porcentaje de sustitución de HBC y su interacción sobre la dureza del pan durante durante 5 días de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA.	68
Cuadro XV. Efecto del tiempo de almacenamiento de panes reducidos en sodio con adición de HBC sobre la dureza durante 5 días de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA.	69
Cuadro XVI. Efecto del porcentaje de sustitución de HBC en panes reducidos en sodio sobre la dureza durante 5 días de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA.	69

Lista de abreviaturas

AR: Almidón resistente

BU: Unidades Brabender

CITA: Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos

CO₂: dióxido de carbono

CRA: Capacidad de retención de agua

FAO: Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal

FHACASA: Fábrica de Harina de Centroamérica, Sociedad Anónima

g: gramo

HBC: Harina de bagazo de cerveza

HT: Harina de trigo

HTI: Harina de trigo integral

IDR: Ingesta diaria recomendada

IG: Índice glicémico

INCAP: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá

kg: kilogramo

LDL: lipoproteínas de baja densidad

m: metro

mg: miligramo

mL: mililitro

mm: milímetro

N: Newton

n: tamaño de muestra

Na: sodio

NaCl: cloruro de sodio

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

p: probabilidad

RTCA: Reglamento Técnico Centroamericano

sp.: especie

WHO: World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)

α : nivel de significancia

$^{\circ}\text{C}$: grados Celsius

μm : micrómetro

\sim : aproximadamente

Resumen

Se caracterizó la composición fisicoquímica de una harina de bagazo de cerveza (HBC) para la elaboración de una materia prima alta en fibra y proteína, apta para su utilización en la industria panadera, con el objetivo de dar valor agregado al subproducto mayoritario del proceso de elaboración de cerveza. Posteriormente, se evaluó el efecto de la incorporación de esta harina (en un 0, 5, 10 y 15% en porcentaje panadero) sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de un pan reducido en sodio. Por último, se evaluó su estabilidad por medio de un estudio de almacenamiento.

La HBC contiene un 35,9% de fibra, 15,13% de proteína, 36% de carbohidratos digeribles, 4,34% de grasa y 2,52% de cenizas, además de 1,545 g de almidón resistente/100 g de harina, lo que la coloca como una opción nutricionalmente ventajosa frente a la harina de trigo, principalmente por su mayor contenido de fibra, proteína, almidón resistente y menor contenido de carbohidratos digeribles. Su capacidad de retención de agua es de 3,8967 g harina húmeda/g harina (más del doble que la de la harina de trigo). Se analizó también su comportamiento con un microviscoamilógrafo, donde se encontró que la harina de bagazo de cerveza aporta viscosidad a la masa, pero no durante el proceso de horneado, lo que permite estimar el comportamiento de las mezclas de harina de trigo con harina de bagazo de cerveza en la elaboración de distintos productos de panificación.

Al utilizar HBC en una formulación de pan reducido en sodio, se obtuvo que el nivel de sustitución no genera diferencias significativas en la dureza y masticabilidad del pan recién horneado, pero sí provoca un aumento en la dureza de este durante el almacenamiento. Además, la adición de HBC provoca una disminución en la elasticidad del pan con un 15% y en la cohesividad a partir de un 10% de sustitución. Estadísticamente, un 5% de HBC en el pan no se comporta diferente que el control para los parámetros de textura analizados.

En cuanto al volumen específico, se obtuvieron valores entre 3,64 y 4,10 mL/g con 0, 5 y 10% de HBC, con una pequeña disminución en el volumen de los panes con HBC con respecto al pan control. Al aplicar 15% de HBC se obtuvo un volumen menor a 3 mL/g y un producto con una forma menos atractiva.

Al analizar el color, se obtuvo que el aumento en el contenido de HBC genera una coloración menos luminosa, más rojiza y menos amarillenta, dando lugar a un tono café más oscuro conforme aumenta el contenido de HBC.

Por último, se determinó que para un 72% de los consumidores el agrado general por el pan con cualquier nivel de sustitución de HBC es mejor o igual al del pan control, por lo que se podría aplicar incluso la sustitución de 15%, con todos sus beneficios asociados; mientras que para un 28% de los consumidores la sustitución máxima de harina de bagazo de cerveza que se podría aplicar es del 5%, ya que ellos opinan que mayores cantidades generan un valor promedio de agrado cercano o menor a 5 (ni me gusta ni me disgusta).

De allí, como a la mayor parte de los consumidores les agradan los panes hasta con 15% de HBC, se podría aplicar cualquier nivel de sustitución; sin embargo, tomando en cuenta el efecto de la cantidad de bagazo sobre la textura y apariencia del pan, se concluye que es preferible aplicar un 10% de HBC para afectar de menor manera las características fisicoquímicas del pan, pero aprovechar una mayor proporción de este subproducto y de esta manera obtener mayores beneficios nutricionales.

1. Justificación

En el proceso de producción de cerveza existen dos desechos principales, el bagazo, y los lodos de levadura. El bagazo es el subproducto obtenido en la maceración de la cerveza, su composición suele ser variable según el tipo de cerveza, pues según la formulación varían las materias primas y las condiciones de proceso (Briggs *et al.* 2004; Gomaa, 2018; Bamforth, 2009). Por lo general, este subproducto en masa seca está compuesto por un 20-25% de hemicelulosa, 12-25% de celulosa, 12-28% de lignina, 19-30% de proteína, 10% de lípidos y 2-5% de minerales; asimismo, podría contener proporciones variables de almidón (Lynch *et al.*, 2016).

El bagazo es el subproducto que genera un mayor impacto en la industria cervecera, ya que representa un 85% de los desechos producidos en el proceso de elaboración de cerveza. Para dimensionar este porcentaje, en promedio por cada 100 kg de malta se obtienen 100-130 kg de bagazo húmedo (con un 70-80% de humedad), lo que implica que se genera aproximadamente de 21-45 kg de subproducto por cada hectolitro de cerveza producido (Lynch *et al.*, 2016; Ramayo, 2018). Actualmente, en Costa Rica, para evitar tratamientos de desechos costosos por el alto contenido de materia orgánica en el bagazo, este se utiliza como alimento animal, con un costo simbólico para su transporte o como una donación con el requisito de recolección por parte de los ganaderos (Domínguez *et al.*, 2013).

Según las tendencias de consumo de alimentos y bebidas para el 2019, la economía circular ha tomado gran importancia en las decisiones de compra de los consumidores, lo que refuerza la necesidad de agregar valor a los residuos obtenidos desde el inicio de la cadena de procesamiento hasta la ingesta, idealmente enfocado en obtener un nuevo producto para el consumo humano (Intel, 2019). A partir de esto, es factible valorizar el bagazo por medio de procesos de molienda y tamizado, de manera que se seleccionen fracciones que puedan ser aprovechadas en la elaboración de una materia prima alta en fibra y proteína apta para su incorporación en un producto industrial como el pan. Lo anterior, además de reducir el impacto ambiental del bagazo, aportaría características funcionales deseables en el pan, al aumentar el contenido de fibra y proteína, con la consecuente disminución de carbohidratos digeribles y la obtención de un menor índice glicémico en un producto muy calórico y altamente consumido a nivel nacional (Lynch *et al.*, 2016; Gómez; Quesada, 2018).

La importancia de desarrollar materias primas con un alto contenido de fibra y proteína se apoya en la necesidad de los consumidores de ingerir estos nutrientes. La fibra dietética cumple un papel indispensable en el proceso de digestión, al aumentar el peso y volumen de las heces, lo que reduce el riesgo de padecer enfermedades gastrointestinales; además, contribuye a disminuir el riesgo de cáncer colo-rectal, diabetes mellitus, obesidad y enfermedades cardiovasculares (Mayo Clinic, 2021 & Blanco *et al.*, 2006). La ingesta diaria recomendada (IDR) de fibra para la población sana es de 30 gramos; sin embargo, en Costa Rica se ha observado un menor consumo *per cápita*, acompañado de un aumento en la cantidad de carbohidratos simples en la dieta (Blanco *et al.*, 2006).

En cuanto a la proteína, en los últimos años, el consumo de este macronutriente en el país ha estado por encima de la IDR, la cual según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 0,8 gramos por kg de peso corporal (Pendick, 2019 & Céspedes *et al.*, 2017). Las tendencias de consumo han generado un repunte a nivel mundial en la cantidad y calidad de proteína en la dieta, por lo que la industria igualmente ha reaccionado hacia el enriquecimiento de gran variedad de productos, con un especial interés en las proteínas de origen vegetal (Pendick, 2019 & Innova Market Insights, 2021). Según las Guías de Alimentación de Costa Rica, una ingesta moderadamente alta de proteínas contribuye a la prevención de enfermedades cardiovasculares, asimismo, una sustitución de carbohidratos por proteínas tiene un efecto benéfico en el perfil de lípidos (Blanco *et al.*, 2006). De allí, toma mayor importancia el desarrollo de alternativas altas en fibra y proteína que permitan aumentar el consumo de estos macronutrientes.

Actualmente, la industria alimentaria costarricense afronta un reto en la reducción de sodio gracias a la implementación del Plan Nacional para la Reducción del Consumo de Sal/Sodio en la Población 2011-2021 (Ministerio de Salud, 2011). A pesar de ello, para el 2018, la ingesta de sodio per cápita en Costa Rica sobrepasaba el doble del consumo recomendado, el cual corresponde a 5 g por día, siendo el pan uno de los productos que más aportan este elemento en la dieta costarricense (Ministerio de Salud, 2011 & Benavides, 2017). Una alta ingesta de sodio contribuye a la generación de problemas de salud, como hipertensión arterial, enfermedades del corazón y accidentes vascular cerebral.

De esta manera, el aprovechamiento del bagazo como materia prima alta en fibra y proteína para la elaboración de pan reducido en sodio podría aportar características importantes a este producto, siendo nutricionalmente muy conveniente en la dieta costarricense.

Otro subproducto que se obtiene de la elaboración de cerveza son los lodos de levaduras, desecho generado luego del proceso de fermentación. Estos presentan un alto contenido de fibra, polifenoles, vitaminas y minerales, entre otros (Ramayo, 2018); sin embargo, representan un menor impacto que el bagazo, pues solo se genera de 1,5-3% del volumen total de cerveza producida; además, las levaduras se suelen reutilizar por tres a diez generaciones según la especie, tipo de cerveza y contenido de extracto en el mosto (Dos Santos *et al.*, 2014). En pruebas preliminares, se determinó que el uso de este subproducto en un pan no es adecuado, debido a que en la separación del lodo se concentra también el lúpulo, lo que genera un amargor muy intenso que no es agradable en este tipo de productos.

Según lo anterior, con este trabajo final de graduación se pretende aprovechar el subproducto del bagazo de malta generado en la industria cervecera para la producción de una materia prima que pueda usarse en la elaboración de un pan alto en fibra, proteína y bajo en sodio.

2. Objetivos

2.1 General

Valorizar el bagazo generado en la producción de una cerveza comercial, para la elaboración de una harina alta en fibra y proteína y apta para su uso como materia prima para la producción de pan reducido en sodio.

2.2 Específicos

- I. Caracterizar la composición fisicoquímica de las fracciones seleccionadas del bagazo seco y molido según el tamaño de partícula para la elaboración de una harina apta para uso en la industria alimentaria.
- II. Analizar las características fisicoquímicas de un pan de molde reducido en sodio hecho con harina de bagazo de cerveza utilizando sustituciones de 5, 10 y 15%, para la evaluación del efecto de los niveles de sustitución en las características físicas del pan.
- III. Comparar el efecto de diferentes grados de sustitución de la harina de bagazo de cerveza sobre el agrado de un pan reducido en sodio para definir el nivel de incorporación aceptado por los consumidores.
- IV. Estudiar el efecto del almacenamiento sobre la dureza del pan reducido en sodio con diferentes grados de sustitución de la harina de bagazo de cerveza.

3. Marco teórico

Utilización de desechos de producciones industriales para la elaboración de alimentos funcionales

Tradicionalmente, los subproductos generados en la industria alimentaria han tenido una connotación negativa debido a que representan un costo, ya sea para su tratamiento o recolección. Sin embargo, en los últimos años, ha tomado mayor importancia la reducción de los subproductos industriales por medio de su reutilización en otros procesos o su reevaluación como coproductos (Waters *et al.*, 2012).

En muchos casos, los subproductos obtenidos en los procesos de producción de alimentos son ricos en diferentes nutrientes que, directamente adicionados o por medio de procesos de extracción de componentes específicos, permiten obtener alimentos funcionales: con ingredientes nutracéuticos, ricos en proteína, fibra soluble e insoluble, minerales, antioxidantes, extractos fenólicos, probióticos, prebióticos, ácidos grasos mono y poliinsaturados, entre muchos otros componentes; aumentando así el valor nutricional de los productos a los que se les adicionan dichas materias primas, antes consideradas como desechos industriales (Dos Santos *et al.*, 2014; Waters *et al.*, 2012; Silveira *et al.*, 2003).

Lo anterior toma mayor importancia al analizar las tendencias de consumo y por lo tanto de producción de alimentos de los últimos años, donde los consumidores le dan un valor alto a los alimentos que aportan bienestar y beneficios a su salud, lo que consecuentemente ha generado un mayor rechazo a los alimentos que tienen un mayor aporte calórico y de calorías vacías. Además, la preocupación de los consumidores por el medio ambiente y el efecto de la industria alimentaria sobre este ha generado una mayor presión sobre las empresas para reducir su impacto ecológico, lo que motiva aún más la valorización de los subproductos generados (Mintel, 2019).

Específicamente, en la industria cervecera se generan varios subproductos, y en los últimos años, se ha buscado adecuar principalmente uno de ellos para utilizarlo como materia prima en diferentes productos: el bagazo de cerveza (Dos Santos *et al.*, 2014).

Cerveza

1. Generalidades

La cerveza es una bebida alcohólica elaborada con cebada germinada (malta), lúpulo, levadura y agua (COMIECO, 2012). La industria cervecera ha incorporado otros ingredientes para aumentar la eficiencia del proceso, así como para aportar nuevos sabores, colores y aromas que hacen los productos más variados y atractivos para el consumidor (Monge, 2016).

2. Proceso de elaboración

Las etapas de elaboración de cerveza tienen un rol importante en el desarrollo y la calidad del producto final, así como en la composición de los subproductos generados, por lo que es necesario profundizar en cada una de ellas para comprender el origen del desecho y las características de este (Monge, 2016).

a. Malteado

El malteado es el proceso de transformación de la cebada en malta, consta de 4 etapas: remojo, germinación, secado y maduración. El remojo propicia la germinación de la cebada, la cual libera y desarrolla enzimas como amilasas y proteasas, que son necesarias en el proceso de maceración. El secado con aire caliente detiene la germinación y tiene un rol importante en el desarrollo del color, aroma y sabor. Por último, la maduración permite que la humedad del grano se distribuya de manera uniforme, para evitar problemas de aglomeraciones durante y después de la molienda que puedan generar crecimiento microbiológico no deseado que afecta finalmente las características de la cerveza (Monge, 2016; Palmer, 2017).

b. Molienda

La molienda de la malta permite la exposición del almidón a la acción enzimática durante la maceración, por lo que una adecuada ruptura del grano genera una mayor eficiencia en la extracción e hidrólisis. Sin embargo, en muchas industrias se utiliza la cascarilla de la malta como medio filtrante para separar adecuadamente el mosto de los granos, por lo que se procura mantener la cascarilla intacta (Monge, 2016).

c. Maceración

La maceración es un proceso de degradación enzimática de carbohidratos y proteínas presentes en el grano de malta, por medio de la adición de agua y calentamientos graduales (Priest & Stewart,

2006). Las diferentes temperaturas aplicadas por tiempos definidos permiten la activación de enzimas específicas presentes en los granos, que permiten hidrolizar y solubilizar azúcares fermentables, dextrinas, péptidos y aminoácidos, entre otros compuestos. Asimismo, se da la extracción de vitaminas, minerales y ácidos nucleicos; obteniendo así un extracto soluble o mosto, que es filtrado posteriormente a través de las cascarillas de la malta (Bamforth, 2009; Briggs, 2004, Monge, 2016).

d. Lavado

Después de la filtración, se realiza un lavado al residuo de malta con agua a una temperatura menor pero cercana a los 80 °C, para favorecer la solubilización de compuestos deseados en el mosto que quedaron retenidos en la malta, pero evitando la extracción de sustancias no deseadas como taninos (Monge, 2016).

e. Hervido

La ebullición del mosto funciona como una pasteurización, eliminando microorganismos e inactivando enzimas provenientes de la malta (Monge, 2016). Además, permite concentrar el mosto y ayuda a la formación del color, sabor, olor y textura de la cerveza gracias a la evaporación de sustancias no deseadas, la coagulación de proteínas y taninos, la reacción de Maillard y la extracción e isomerización de compuestos deseados del lúpulo (Priest & Stewart, 2006; Monge, 2016). Al finalizar la ebullición, se realiza una separación de los precipitados formados, con el objetivo de aumentar la estabilidad de la cerveza y facilitar la fermentación; además de separar la mayor cantidad posible del lúpulo (Priest & Stewart, 2006; Alpízar, 2018).

f. Enfriamiento

El mosto se enfría con el objetivo de precipitar las proteínas coaguladas en el hervor que no se lograron separar, usualmente de un tamaño menor a los 2 μm (Monge, 2016). Esta etapa también es importante para la inoculación, la temperatura final está definida por el tipo de levadura que se utiliza, usualmente se encuentra entre 8-17 °C (Priest & Stewart, 2006).

g. Inoculación

La levadura se añade directamente y se oxigena para promover su reproducción y asegurar una adecuada fermentación (Monge, 2016; Priest & Stewart, 2006).

h. Fermentación

La fermentación es el proceso bioquímico de conversión de azúcares principalmente a etanol y CO_2 , por parte de levaduras del género *Saccharomyces* sp., las cuales aportan además características

sensoriales específicas según la cepa utilizada, por la generación de otros compuestos por vías alternas como alcoholes, ésteres, diacetil, sulfuros, entre otros (Agulló, 2015; Monge, 2016). Al agotarse los azúcares, la levadura comienza a flocular, lo que permite separar y eliminarla de manera efectiva (Priest & Stewart, 2006).

i. Maduración

La maduración requiere de días a semanas y tiene un papel importante en la estabilidad y calidad del producto final, pues afecta la apariencia y el sabor de la cerveza. La reducción en la concentración de compuestos no deseados como diacetilo y sulfuro de hidrógeno es vital; además, en este proceso se forma la turbidez fría conformada por polipéptidos y polifenoles que se eliminan más adelante en la clarificación (Monge, 2016; Priest & Stewart, 2006).

j. Filtración

La filtración permite obtener una cerveza brillante y cristalina. Usualmente se lleva a cabo por medio de una filtración con diatomea o perlita; sin embargo, en algunos casos se realiza una segunda filtración con celulosa para dar un aspecto más pulido y limpio (Monge, 2016; Priest & Stewart, 2006). Además, en esta etapa se realizan correcciones al producto en caso de ser necesario, como ajustes del color, sabor, espuma, entre otros (Priest & Stewart, 2006).

k. Carbonatación

La carbonatación permite estandarizar el nivel de CO₂ en la cerveza, lo cual es de importancia, pues la presencia de CO₂ potencia o mejora algunas características sensoriales de la cerveza como la sensación en boca, sabor, cuerpo y espuma. Además, al disminuir el pH y el potencial redox, se inhibe la reproducción de microorganismos aerobios y sensibles al ácido, ayudando a la preservación de la cerveza (Monge, 2016).

3. Subproductos

Los principales subproductos del proceso de elaboración de cerveza se obtienen luego de la maceración y la fermentación. Al primero de estos se le denomina bagazo, está compuesto por los granos de malta parcialmente molidos e hidrolizados en la maceración. En promedio, por cada 10 litros de cerveza elaborada, se obtiene entre 2,1 a 4,5 kg de bagazo, siendo este el subproducto mayoritario, con un 85% de los desechos producidos en la industria cervecera (Ramayo, 2018; Lynch *et al.*, 2016).

Por otro lado, luego de la fermentación se obtiene un lodo constituido principalmente por levaduras. Este subproducto representa un 1,5-3% del total de cerveza producida; sin embargo, puede ser reutilizado de tres a diez generaciones según la especie de levadura presente, los tipos de cerveza que se elaboran y el contenido de extracto en el mosto (Dos Santos *et al.*, 2014).

Bagazo como subproducto del proceso de maceración de la cerveza

1. Definición

El bagazo es el subproducto obtenido en el proceso de elaboración de cerveza luego de la maceración, filtración y lavado de los granos de cebada malteados (Ramayo, 2018).

2. Composición de la materia prima: cebada

La cebada es un cereal, cuya estructura general se muestra en la Figura 1. Entre las capas externas se encuentran la cáscara, el pericarpio y la testa, los cuales están compuestos principalmente por fibra (Latham, 2002). A continuación, se encuentra la aleurona, una capa rica en proteínas, almidón, lípidos, vitaminas y minerales que encapsula el endospermo y tiene un rol importante en la expresión de enzimas durante la germinación (Latham, 2002; Zhang & Li, 2009).

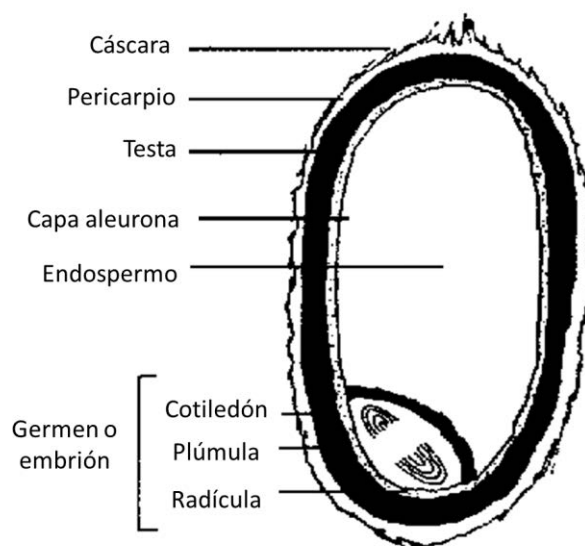


Figura 1. Estructura física de un cereal (Latham, 2002)

El endospermo comprende aproximadamente un 60% del peso del grano, su composición está relacionada directamente con la calidad de la malta para la elaboración de cerveza. La mayor parte del endospermo está formada por almidón, embebido en una matriz compuesta por proteínas y polisacáridos no almidonosos, principalmente β -D-glucanos y arabinosilanos (Zhang & Li, 2009).

El embrión o germen es el tejido más importante en los cereales. En el caso de la cebada, este es de vital importancia en el proceso de malteado, pues contiene almidón, proteína y lípidos, nutrientes necesarios para la germinación del grano y el desarrollo de las enzimas implicadas en el proceso de maceración (Zhang & Li, 2009).

Existen distintos tipos de malta provenientes de diversas partes del mundo, con diferente grado de tueste, lo que aporta características específicas a la cerveza como sabores, colores, aromas y cuerpo (Monge, 2016). A partir de esto, su composición química es relativamente variable; López *et al.* (2007), Makeri *et al.* (2013), FEDNA (2016), Contreras *et al.* (2008) y Martínez & Jiménez (2013) reportan la composición química de diferentes variedades de cebada, cuyo valor promedio se presenta en la Figura 2.

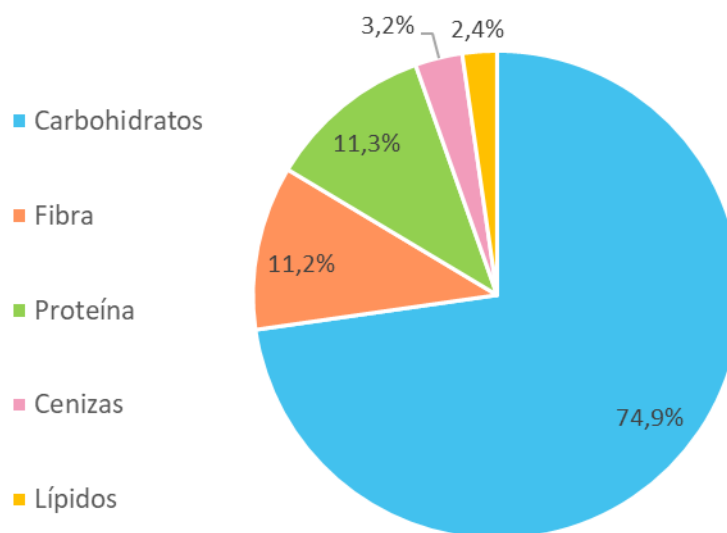


Figura 2. Composición química promedio de la cebada en base seca (elaboración propia)

3. Procesos enzimáticos en la maceración

En el proceso de maceración están involucradas diferentes enzimas, las cuales se encuentran naturalmente en el grano de cebada o podrían ser añadidas al mosto para aumentar la eficiencia de

la maceración. Las principales enzimas implicadas son las α -amilasa, β -amilasa, proteasas y β -glucanasas, cuya función y rango de temperatura óptima se muestra en el Cuadro I (Gomaa, 2018).

Cuadro I. Función y rango de temperatura óptima de las principales enzimas endógenas de la malta involucradas en el proceso de elaboración de cerveza.

Enzima	Función	T óptima (°C)
β -glucanasa	Hidroliza los enlaces 1-3 β -glucosídicos en la matriz que envuelve los gránulos de almidón. Disminuye la viscosidad y turbidez del mosto.	45-50
Proteasas	Hidrolizan enlaces peptídicos de las proteínas presentes en la matriz que envuelve el almidón. Solubilizan proteínas clarificando el mosto, reducen la viscosidad del mosto y aportan aminoácidos a la levadura	52
β -amilasa	Genera maltosa por hidrólisis del almidón en los enlaces externos α (1-4) glicosídicos Permite obtener mayor porcentaje de alcohol en la cerveza	63
α -amilasa	Genera dextrinas por hidrólisis aleatoria del almidón en el enlace α (1-4) glicosídico	74

Fuente: Gomaa, 2018.

Debido a que las enzimas presentan diferentes temperaturas óptimas de trabajo, la maceración de cada cerveza está definida según las características que se desean en el producto final, por lo que el maestro cervecero es quien dicta el tiempo que se mantiene el mosto a la temperatura óptima de cada enzima, definiendo así una curva de maceración única para cada cerveza. Generalmente, se establece una temperatura inicial entre los 52-55 °C, lo que promueve la hidrólisis de proteínas y β -glucanos. A continuación, se eleva la temperatura a 60-65 °C para promover la actividad de las amilasas, principalmente la β -amilasa. Por último, se aumenta la temperatura a 70-78 °C para promover la actividad de la α -amilasa e inactivar proteasas, β -glucanasas y β -amilasas (Gomaa, 2018; Monge, 2016).

4. Composición del subproducto (bagazo)

El bagazo está constituido principalmente por material insoluble que permanece luego de la extracción de azúcares fermentables, dextrinas, proteínas solubles, péptidos y aminoácidos, entre

otros componentes, obtenidos del grano de malta en la maceración. De esta manera, el bagazo se compone mayoritariamente de las capas exteriores del grano y una proporción mínima de endospermo (Lynch *et al.*, 2016). En general, la composición del bagazo se detalla en la Figura 3:

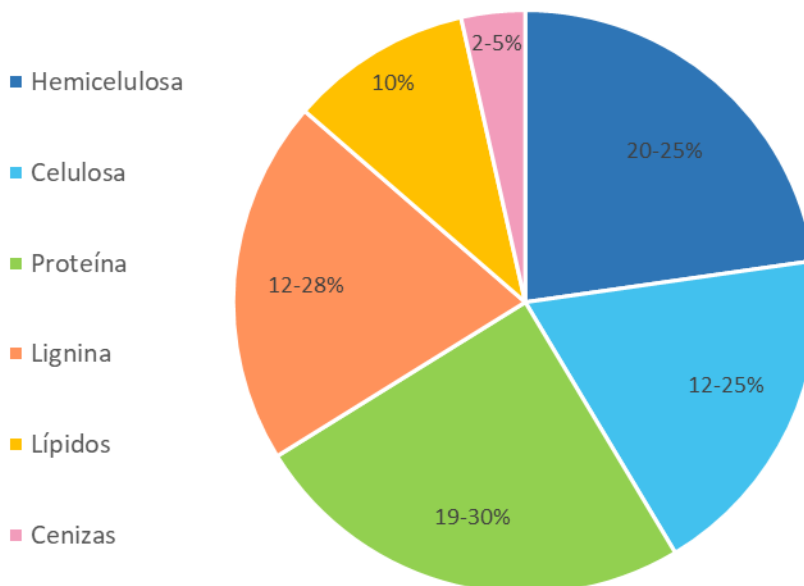


Figura 3. Composición química del bagazo en base seca. Adaptación de Lynch *et al.*, 2016

Según Lynch *et al.* (2016), la mayor parte del bagazo corresponde a material lignocelulósico proveniente de las fibras vegetales, que están formadas por fibrillas de celulosa que se mantienen unidas por una matriz de hemicelulosa y lignina (Da Silva *et al.*, 2015). En el caso del bagazo, la hemicelulosa está constituida principalmente por arabinoxilanos, mientras que la lignina corresponde a una macromolécula polifenólica (Galanakis, 2018). Por su estructura rígida y compleja, estos tres componentes se consideran como fibra dietética (Escudero & González, 2006). El nivel de proteína en el bagazo es de los componentes con mayor variabilidad, desde un 14 a un 31% en base seca; sin embargo, generalmente se encuentra alrededor de un 20%. La mayoría de las proteínas son hordeínas (un 43% aproximadamente), seguidas de glutelinas, globulinas y albúminas, así como otros péptidos producto de la degradación enzimática (Galanakis, 2018; Lynch *et al.*, 2016). Además, el contenido de aminoácidos esenciales ronda un 30% del contenido proteico total del bagazo, con un 14,3% de lisina, lo que resulta de importancia al ser un aminoácido escaso en los productos a base de cereales (Lynch *et al.*, 2016; Waters *et al.*, 2012).

Por lo general, el contenido de carbohidratos digeribles en el bagazo es muy variable, normalmente se encuentran niveles bajos de almidón (2%) y alrededor de un 3,5% de azúcares solubles, entre ellos la xilosa, glucosa y arabinosa, así como trazas de ramnosa y galactosa (Lynch *et al.*, 2016; Galanakis, 2018).

Asimismo, se encuentran pequeñas cantidades de β -D-glucanos y presenta minerales importantes como fósforo, magnesio, calcio y silicio. Cabe resaltar que la composición del bagazo es variable según el grado de extracción de los diferentes componentes, lo cual depende de la curva de maceración, la eficacia en la molienda del grano, las variedades de maltas o adjuntos utilizados, entre otros (Lynch *et al.*, 2016).

5. Usos y aplicaciones

Tradicionalmente el bagazo se ha utilizado como alimento animal, con una especial efectividad en rumiantes por su alto contenido de fibra y proteína. Debido a su bajo costo y su alto valor nutritivo, se ha valorado el uso del bagazo como materia prima en la producción de alimentos para consumo humano, principalmente en productos de panificación, como pan, galletas, queques, brownies, tortillas, donas, snacks, entre otros productos. Sin embargo, existen limitaciones en el uso del bagazo por su color, sabor y su alto contenido de fibra, lo que afecta las características físicas deseadas en este tipo de alimentos, por lo que se opta por añadirlo como una harina fina y en pequeñas cantidades (Mussatto *et al.* 2006).

6. Proceso de estabilización

Durante la producción, el bagazo es un subproducto microbiológicamente estable debido a los largos tiempos a los que se ve sometido a diferentes temperaturas en el proceso de maceración. Sin embargo, generalmente presenta un contenido de humedad entre 70-80%, que, sumado a su alto valor proteico y la presencia de polisacáridos, hace que sea muy susceptible al desarrollo microbiológico, principalmente de mohos (Lynch *et al.*, 2016).

Por lo tanto, para asegurar su estabilidad en el almacenamiento, el principal método de conservación utilizado es la reducción en su contenido de humedad hasta un 10%, de manera que se reduce la actividad de agua y el volumen del subproducto, generando beneficios al prolongar el tiempo de almacenamiento en un menor espacio físico, con menores costos de transporte y sin causar cambios importantes en la composición del bagazo (Aboltins & Palabinskis, 2015; Lynch *et*

al., 2016). Se recomienda un secado suave, con aire caliente a menos de 60 °C, para evitar sabores indeseables por altas temperaturas que tuesten o quemen el grano (Mussatto *et al.*, 2006).

Por lo tanto, al ser el bagazo un subproducto con un alto contenido de fibra dietética y proteína, incluyendo la lisina, se ha planteado su implementación en alimentos a base de cereales, como es el caso de los productos de panificación (Waters *et al.*, 2012).

Pan

1. Generalidades

El pan es un alimento fundamental en la dieta de millones de personas a nivel mundial, ya que es una importante fuente de energía y proteína, así como de minerales y otros micronutrientes (Preedy *et al.*, 2011). Está constituido a partir de harinas de cereales (tradicionalmente trigo) que se mezclan con agua para formar una masa, la cual es fermentada por acción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y cocida. El pan de molde específicamente es un pan de corteza blanda cuya cocción se realiza en moldes rectangulares que dan su forma característica (Lezama, 2015).

2. Principales materias primas

a. Harina

La harina es el producto que se obtiene de la trituration del endospermo del grano de trigo, hasta asegurar que el 98% de la harina pase a través de un tamiz de 212 μm (Lezama, 2015; COMIECO, 2007). Si en la trituration del grano se incluye todo el grano, se denomina harina integral. A pesar de que el término harina se refiere específicamente a la harina de trigo, existen múltiples alternativas de harina provenientes de otros granos y leguminosas, como la harina de maíz, harina de arroz, harina de frijol, entre otras (Mesas & Alegre, 2002).

La harina es el ingrediente base en la elaboración del pan. Por lo general, la más utilizada es la harina de trigo, la cual está compuesta en un 70 a 75% de almidón, 10 a 12% de proteínas, 2 a 3% de otros polisacáridos no almidonosos y un 2% de lípidos (De La Vega, 2009). La harina de trigo representa la mejor opción en la elaboración de productos de panificación, debido a que presenta dos proteínas llamadas gliadina y glutenina, que en conjunto forman el gluten, una proteína que permite obtener una masa viscoelástica, lo que genera un producto con una mejor estructura y esponjosidad, debido a la formación de una red que atrapa el gas en el interior del pan (Leandro, 2019; Lezama, 2015).

b. Agua

El agua es el segundo componente mayoritario en la elaboración de pan. Permite la hidratación de los gránulos de almidón y la formación de una masa amasable, proceso necesario para el desarrollo del gluten (Paz, 2014). Además, la presencia de agua es indispensable para brindar un ambiente adecuado para el desarrollo de las levaduras (Leandro, 2019).

Por otro lado, también permite la disolución de todos los ingredientes, facilitando una distribución homogénea con ayuda del amasado. Su papel es indispensable en el sabor y textura del producto final, da suavidad, frescura y sabor mediante la porosidad de la miga y la formación de la corteza (Paz, 2014). La cantidad de agua en la formulación es un aspecto muy importante a considerar, ya que define en gran parte la calidad del pan (Lezama, 2015).

c. Levadura

La levadura es un componente de gran relevancia en la elaboración de pan, funciona como un agente leudante al utilizar como fuente de energía los mono y disacáridos obtenidos por hidrólisis enzimática del almidón, produciendo CO_2 y etanol. Gracias a la presencia de gluten, el CO_2 producido se retiene dentro de la estructura del pan, permitiendo así el aumento de volumen y esponjosidad de este, mientras que el etanol se evapora durante el proceso de horneado. Además, otras vías metabólicas alternas de la levadura generan componentes como ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes, ésteres y cetonas, compuestos que confieren características aromáticas al pan (Paz, 2014; Lezama, 2015).

d. Sal

La sal de mesa (NaCl) se utiliza comúnmente con el objetivo de intensificar los sabores. Sin embargo, en el caso del pan, esta cumple otras funciones importantes, como el fortalecimiento de la red de gluten, lo que genera una mayor retención de agua y CO_2 , permitiendo que la masa se pueda estirar sin romperse (International Food Information Council Foundation, 2010). Además, la sal aumenta la vida útil al restringir el desarrollo de bacterias productoras de ácido, favorece la coloración de la corteza y retarda el crecimiento de levaduras en los procesos de fermentación por el aumento en la presión osmótica, evitando un crecimiento muy acelerado que podría afectar la forma y el sabor del pan (Lezama, 2015; Lauterbach & Albrecht, 1994).

La cantidad de sal en la formulación depende de las preferencias del consumidor y el tipo de producto; por lo general, el pan de molde contiene cerca de un 2% de sal, mientras que otros panes pueden no contener sal, o llegar hasta un 3% (Cauvain & Young, 2007).

3. Otras materias primas

a. Azúcar

El azúcar no es una materia prima indispensable en la elaboración de pan; sin embargo, además del sabor que aporta al producto, la adición de este ingrediente acelera el crecimiento inicial de la levadura, debido a que, a tempranas etapas de la fermentación, el contenido de mono y disacáridos que puedan servir de sustrato para la levadura ronda el 0,5%, lo que se traduce en un desarrollo gradual que ralentiza el proceso. Por otra parte, el azúcar participa en la reacción de Maillard, produciendo melanoidinas que dan la coloración dorada de la corteza del pan. Asimismo, aumenta la retención de agua del producto, lo que alarga su vida útil al conservar por más tiempo sus características de textura (Lezama, 2015).

b. Grasas

Por lo general, la cantidad de grasa en una formulación panaria varía entre el 0% y el 10% según las preferencias de los consumidores. La adición de grasa tiene como principal función la lubricación de la masa, lo que facilita su expansión y mejora el manejo y moldeado. Además, la grasa mejora las propiedades de comestibilidad, ablanda la corteza y alarga la vida útil al retardar el envejecimiento del pan. Por otro lado, facilita la dispersión uniforme de las levaduras en la masa, lo que permite obtener una mejor distribución de gases (Lezama, 2015; Mundo Alimentario, 2012).

c. Aditivos

Los aditivos más utilizados en la elaboración de pan pertenecen a cuatro clases: oxidantes, emulsificantes, hidrocoloides y preservantes (Karunaratne & Pamunuwa, 2017).

i. Oxidantes

Este tipo de aditivos se utiliza para mejorar el desarrollo de la red de gluten, debido a que oxidan los enlaces sulfhidrilo de cisteínas, creando puentes disulfuro adicionales, lo que mejora la tolerancia de la masa al manejo, así como su elasticidad y el crecimiento en el horneado para generar un pan con mayor volumen (Tebben *et al.*, 2018).

ii. Emulsificantes

Los emulsificantes se utilizan en panificación con el objetivo de suavizar la miga después del horneado y al inicio de su vida en anaquel, debido a que se ligan a la amilosa de la harina, desacelerando la retrogradación del almidón durante el enfriamiento y el almacenamiento. Por otro lado, también se utilizan como acondicionadores de la masa o para aumentar la fuerza del gluten,

por medio de la formación de puentes de hidrógeno con grupos amida del gluten, de manera que la red se torna más resistente, extensible y, por lo tanto, se obtiene un producto con mayor volumen y simetría, así como una miga más blanca, fina y una textura suave (Karunaratne & Pamunuwa, 2017).

iii. Hidrocoloides

Los hidrocoloides se utilizan como mejoradores en la producción de pan, ya que mejoran las propiedades de manejo de la masa durante el procesamiento y la calidad del pan fresco. Además, aumentan el volumen del pan y su capacidad de retención de agua, lo que se traduce en la extensión de su vida útil en el almacenamiento al disminuir la firmeza y la retrogradación del almidón (Karunaratne & Pamunuwa, 2017). Asimismo, mejoran sus características sensoriales, compensan el efecto negativo sobre las características de la masa y el pan elaborados con harinas bajas en proteína o altas en fibra y ayudan a preservar la calidad del pan congelado o precocido (Tebben *et al.*, 2018).

iv. Preservantes

Los preservantes tienen como principal objetivo inhibir el crecimiento de mohos y bacterias termófilas para alargar la vida de anaquel del pan, con el cuidado especial de no utilizar compuestos que sean perjudiciales para la levadura, responsable del volumen del pan. Por lo general, en este tipo de productos se utiliza ácido propiónico, debido a que es más efectivo a un pH menor a 5.5 y logra inhibir mohos y esporas de microorganismos que sobreviven el horneado, como *Bacillus subtilis* (Shahnawaz *et al.*, 2012.). Este aditivo se agrega como propionato, que al mezclarse con el agua se disocia y cumple su objetivo sin generar un efecto importante sobre las levaduras (Karunaratne & Pamunuwa, 2017).

4. Composición nutricional

La composición del pan es muy variable según las preferencias de los consumidores y el tipo de pan que se elabora. En el caso del pan cuadrado, el contenido en grasa, proteínas y fibra es algo mayor que en el *baguette* o bollos, aunque su composición nutricional varía según el grado de refinado de la harina y del posible enriquecimiento o fortificaciones de la masa durante la elaboración (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, s.f.). En el Cuadro II se presenta la composición nutricional general de un pan blanco industrial en tajadas, reportada por el INCIENSA (Blanco *et al.*, 2006).

Cuadro II. Composición nutricional general de un pan blanco de molde.

Componente	Contenido (g/100 g)
Humedad	27,6
Proteína	9,6
Lípidos	2,6
Carbohidratos totales	58,5
Fibra	3,6
Cenizas	1,7

a. Reducción de sodio en pan

En nuestro país, según un estudio realizado por el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA) (2016), el contenido de sodio en panes aumentó casi un 100% entre 1994 y 2012; específicamente, el pan blanco de molde llegó a 616 mg de Na/100 g, mientras que el pan de molde integral a 720 mg Na/100 g.

El Plan Nacional para la Reducción del Consumo de Sal / Sodio en la población de Costa Rica (Ministerio de Salud, 2011) plantea la importancia de reducir el contenido de sodio en productos de panadería, debido a que estos representan uno de los alimentos que más sodio aportan a la dieta humana, no directamente por un alto contenido de sodio, sino por la frecuencia y volumen de consumo de este tipo de productos (Harvard T.H. Chan, 2019b). Según el INCIENSA, se estima que del consumo de sodio promedio en Costa Rica un 14% es proveniente del pan (Montero *et al.*, 2015).

5. *Características físicas del pan*

a. Textura

La textura del pan es uno de los factores más importantes, que definen su calidad, durabilidad y la aceptabilidad por parte de los consumidores (Pycia & Ivanišová, 2020). El uso de nuevas materias primas afecta las propiedades fisicoquímicas, sensoriales, texturales y reológicas de los productos panificables, por lo que toma importancia el analizar el efecto de estos ingredientes en el desarrollo de nuevos productos en panificación (Vega *et al.*, 2015).

El análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) es una técnica instrumental que permite simular la acción de la mordida sobre el alimento, gracias a la acción de un cilindro de superficie lisa que comprime una porción de este en dos ocasiones, a las cuales se le denominan primer y segundo mordisco (Lezama, 2015). A partir de esto, se obtiene una gráfica como la que se muestra a continuación:

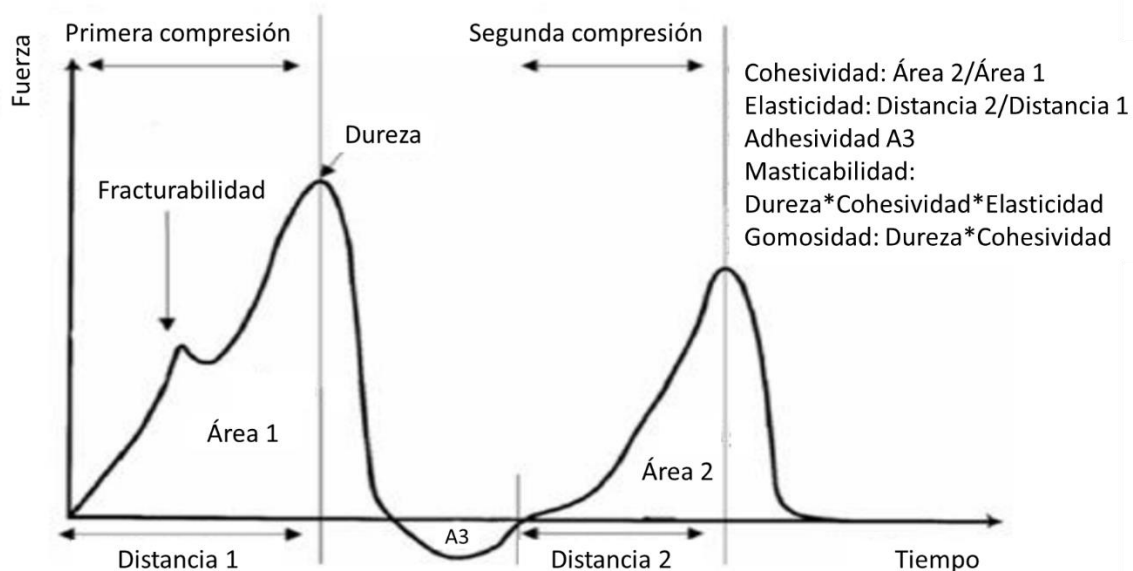


Figura 4. Diagrama de la prueba de perfil de textura (Hleap & Velasco, 2010)

A partir de este diagrama, como se observa en la Figura 4, se obtiene información sobre varios parámetros de textura. En el pan, por lo general se consideran principalmente la dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad (Lezama, 2015):

- Dureza: es la fuerza necesaria para comprimir el alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar (Lezama, 2015). Es uno de los parámetros más importantes en la textura del pan, se ve afectada por la formulación y el tipo de aditivos utilizados, así como por la manipulación de la masa y el peso específico de la miga; además, es el criterio más relacionado con la retrogradación del pan (Pycia & Ivanišová, 2020; Lezama, 2015). Por lo general, los panes elaborados con harinas alternativas tienden a presentar una mayor dureza (Pycia & Ivanišová, 2020).
- Cohesividad: es la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse (Hleap & Velasco, 2010). En el pan se espera una alta

cohesividad, ya que esto permite que se forme un bolo en la masticación. Si la cohesividad es baja, el pan es más susceptible a fracturarse o desmoronarse (Matos & Rossel, 2012).

- Elasticidad: altura que el alimento recupera durante el tiempo entre el primer ciclo y el inicio del segundo (Lezama, 2015). La elasticidad es importante en el pan de molde, ya que un pan poco elástico tenderá a desmoronarse al cortar en rebanadas. Adicionalmente, la elasticidad se relaciona con la frescura del pan, por lo que se esperan valores altos en este parámetro (Matos & Rossel, 2012).
- Masticabilidad: trabajo requerido para masticar un alimento sólido hasta que esté listo para ser tragado. Este parámetro se relaciona con la textura gomosa durante la masticación, en el pan, se quiere cierta masticabilidad, no excesiva, pero tampoco muy baja, ya que el pan se rompería en la boca muy fácilmente, como una galleta tipo *biscuit* (Singh *et al.*, 2014; Matos & Rossel, 2012).

b. Volumen específico

El volumen específico está determinado como el cociente del volumen neto del pan entre su masa (Vega *et al.*, 2015). Este parámetro es de importancia en el pan, debido a que, por lo general, un mayor volumen específico se relaciona con una miga más suave, ya que se tienen más celdas de aire en el interior del pan que no contribuyen a su firmeza. De esta manera, un pan con mayor volumen específico tiende a endurecerse más lentamente, lo que alarga la vida útil del producto (Hebeda & Zobel, 1996). El pan por lo general presenta un volumen específico entre 3 y 4 mL/g (Arendt & Zannini, 2013).

c. Color

El color es un parámetro muy importante a considerar en la elaboración de un alimento, debido a que la percepción de este puede verse afectada según lo que los consumidores esperan de este tipo de productos. De esta manera, la percepción de las cualidades gustativas, olfativas y orales-somatosensoriales se modifican si el color es apropiado, inapropiado o ausente, influyendo en la percepción general del sabor multisensorial (Spence *et al.*, 2010). Específicamente en el pan de molde se espera que la corteza sea lisa y sin defectos apreciables, de un color dorado y uniforme (Boatella *et al.*, 2004.).

Potenciales beneficios a la salud por la incorporación de bagazo de cerveza en pan

La utilización del bagazo de cerveza como materia prima podría significar una mejora en la calidad nutricional de productos de panificación como el pan. A partir de su composición, podría aportar potenciales beneficios, como el aumento en el contenido de proteína, de fibra dietética y la disminución en el índice glicémico. Ktenioudaki *et al.* (2012) lo demostraron al adicionar bagazo de cerveza en panes del tipo “*breadsticks*” o palillos de pan, donde disminuye la cantidad de almidón y aumenta el contenido de grasa, proteína y fibra, la última se duplicó solo con la adición de un 15% de bagazo; mientras que el contenido de humedad y cenizas no se vio afectado.

En la misma línea, Reis & Abu-Ghannam (2014) también encontraron que al elaborar *breadsticks* con adición de bagazo de cerveza su contenido fenólico y por lo tanto su capacidad antioxidante aumentó, al igual que el contenido de arabinosilanos (fibra soluble), mientras que el índice glicémico disminuyó significativamente respecto al control.

Fărcaș *et al.*, (2014) analizaron la composición nutricional de panes con sustitución de 0, 5, 10, 15 y 20% de harina de bagazo, obteniendo un aumento significativo en el contenido de fibra, proteína, grasa y minerales, así como una disminución en los carbohidratos totales. Además, reportaron que para las sustituciones de 5 y 10% se obtuvo una aceptación sensorial similar al control, disminuyendo con el aumento de bagazo a partir del 15% de sustitución. Por otro lado, Hassona (1993) mostró que la adición de 10% de HBC en pan aumentó su contenido de proteína, de aminoácidos esenciales y de fibra en un 50, 10 y 100% respectivamente, reduciendo su contenido calórico en aproximadamente un 7%.

Tomando en cuenta lo anterior, los potenciales beneficios de añadir bagazo de cerveza en la elaboración de pan reducido en sodio merecen especial atención, ya que aumentan considerablemente el valor nutricional de uno de los alimentos más consumidos en el país (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2014). En esta investigación, el enfoque se centrará en el contenido de proteína y fibra, así como la carga glicémica y el contenido de sodio.

1. Proteína

La proteína es un macronutriente indispensable en la dieta humana, está constituida por secuencias de aminoácidos que se unen entre sí por medio de enlaces peptídicos. Nueve de estos aminoácidos son esenciales; es decir, deben ser consumidos a través de la dieta, ya que no pueden ser sintetizados o transformados a partir de otras sustancias en el organismo. Estos aminoácidos

esenciales son la histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina (Harvard T.H. Chan, 2019c).

Todos los alimentos naturalmente contienen proteína; sin embargo, en algunos de ellos se encuentra en mayor cantidad, como en las carnes, lácteos, leguminosas, semillas y cereales. Es indispensable mantener un balance en la ingesta de los diferentes grupos de alimentos, de manera que se asegure el consumo necesario de los diferentes aminoácidos esenciales, ya que no todos se encuentran en un grupo específico (Harvard T.H. Chan, 2019c).

El consumo de proteína ha tomado gran relevancia en los últimos años; en la actualidad, los consumidores se han enfocado en el aprovechamiento de fuentes vegetales de proteína para incorporarla a su dieta de manera más saludable y sostenible con el medio ambiente (Shan *et al.*, 2019; Nielsen, 2018). Hoy en día, en el mercado se encuentran con más frecuencia productos altos en proteína en muchas categorías donde la presencia de este macronutriente no necesariamente era usual (Sloan, 2020).

2. *Fibra dietética*

La fibra dietética es un elemento indispensable en una nutrición sana, comprende todos los componentes de la célula vegetal comestible que no pueden ser digeridos y absorbidos en el intestino delgado, con fermentación parcial o completa en el intestino grueso (Escudero & González, 2006). Estas sustancias pueden ser descritas como carbohidratos no digeribles, entre los que se encuentran la celulosa, hemicelulosas, pectinas, gomas y mucílagos, y componentes no polisacáridos como la lignina (Carbajal, 2013; Weickert & Pfeiffer, 2008).

La fibra se encuentra naturalmente en muchos alimentos, entre ellos los cereales, leguminosas, vegetales y nueces (Lezama, 2015). Sin embargo, en los últimos años, las tendencias de consumo de alimentos y bebidas apuntan a la búsqueda de un estilo de vida saludable, por lo que la industria de alimentos ha buscado incorporar fibra dietética, entre otros nutrientes, en las formulaciones de muchos productos para que se ajusten a los deseos y necesidades de los consumidores (Díaz, 2016; Mintel, 2019; Mintel, 2020).

a. Clasificación de la fibra dietética

i. Fibra insoluble

La fibra insoluble está compuesta por celulosas, hemicelulosas y lignina, las cuales son parcialmente fermentables en el intestino, a excepción de la lignina. Tiene una alta capacidad de retención de

agua, lo que aumenta la masa fecal y acelera el tránsito intestinal, por lo que favorece en el tratamiento del estreñimiento; además, ayuda a reducir el riesgo de enfermedad diverticular y cáncer colorrectal (Escudero & González, 2006; Huizen, 2017).

ii. Fibra soluble

Este tipo de fibra puede ser fermentada en su totalidad por la microbiota intestinal. Dentro de esta categoría se clasifican las gomas, mucílagos, pectinas, inulina, almidón resistente, fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y una fracción de las hemicelulosas (Escudero & González, 2006).

La fibra soluble está relacionada con la reducción de los niveles de colesterol total y lipoproteínas de baja densidad (LDL, por sus siglas en inglés), así como de la respuesta de glucosa postprandial, debido a su capacidad de formar geles viscosos que retardan el vaciado gástrico y la absorción de macronutrientes en el intestino (Isken *et al.*, 2010). La fermentación de la fibra soluble genera como subproducto ácidos grasos de cadena corta, los cuales estimulan la motilidad y aceleran el tiempo de tránsito intestinal, reducen la producción de glucosa hepática, mejoran la homeostasis de lípidos, estimulan la absorción de iones, ejercen acciones antiinflamatorias en el colon y están relacionados con la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer de colon. El contenido de este tipo de fibra en los alimentos se encuentra muy ligado con el índice glicémico de estos (Weickert & Pfeiffer, 2008; Escudero & González, 2006; Díaz, 2016).

b. Índice glicémico

El índice glicémico (IG) de un alimento es una medida fisiológica de su capacidad para aumentar la concentración de glucosa en sangre (respuesta glicémica), en comparación con un alimento de referencia (FAO/WHO, 1998). Todos los alimentos tienen su propio índice glicémico, según este valor, se clasifican en tres categorías (Díaz, 2016; Reis & Abu-Ghannam, 2014):

- Alto: alimento que poseen un IG por encima de 70, se digieren y absorben rápidamente, lo que genera fluctuaciones marcadas en el nivel de glucosa en sangre (Reis & Abu-Ghannam, 2014). Alimentos como el pan, la papa y la sandía poseen un alto IG (Díaz, 2016).
- Bajo: estos alimentos poseen un IG por debajo de 55, son digeridos y absorbidos lentamente, lo que resulta en un aumento gradual de la glucosa en sangre (Reis & Abu-Ghannam, 2014). En esta categoría se encuentran alimentos como el espagueti, los frijoles y la naranja (Díaz, 2016).

- Intermedio: son los alimentos que poseen un IG entre 56 y 69, por lo que no se categorizan como altos o bajos. Ejemplos de estos alimentos son el maíz dulce, la piña y el helado (Díaz, 2016).

La velocidad con la que se digieren y absorben los alimentos y, por lo tanto, el índice glicémico de estos depende de diferentes factores físicos y químicos, así como del individuo que los consume. Entre ellos, destacan (Díaz, 2016; Reis & Abu-Ghannam, 2014):

- Tipo de carbohidrato: el IG varía dependiendo de la naturaleza del carbohidrato que se consume. En orden decreciente: glucosa>maltosa>sacarosa>fructuosa.
- Propiedades químicas: según del tipo almidón, la facilidad de absorción de este varía, afectando el IG. En orden decreciente: almidón rápidamente digerible>almidón lentamente digerible>almidón resistente.
- Técnica de procesamiento: a mayor procesamiento, mayor el IG. Además, algunas operaciones afectan en mayor o menor grado la estructura de los carbohidratos complejos, de manera que se afecta también el IG.
- Alimentos acompañantes: las grasas, la fibra y ácidos como limón o vinagre disminuyen el IG.
- Metodología de obtención de la muestra de sangre: método, frecuencia y duración.
- Características individuales del consumidor: edad, sexo, índice de masa corporal, tabaquismo, estrés.

Una manera de clasificar los alimentos según su índice glicémico es por medio de la determinación del grado en el que el almidón es digerido en el intestino delgado. Esto se logra a través de ensayos enzimáticos *in vitro*, cuyos parámetros posteriormente pueden ser correlacionados con la respuesta glicémica *in vivo* (Díaz, 2016).

Reis & Abu-Ghannam (2014) evaluaron el efecto de la incorporación de bagazo de cerveza en snacks extruidos y *breadsticks* sobre el índice glicémico de estos productos, obteniendo en el caso de los *breadsticks* una disminución en el IG desde 89 (0% de incorporación) hasta 63 (35% de incorporación), logrando trasladar de categoría el producto desde un IG alto hasta un IG intermedio.

3. *Productos bajos en sodio*

El consumo de sodio en la dieta humana usualmente se relaciona directamente con la ingesta de sal común (cloruro de sodio), debido a que este es uno de los ingredientes vitales en la elaboración de

muchos alimentos, por lo que existe un deseo innato en las personas por el sabor a la sal (Ministerio de Salud, 2011). Sin embargo, el exceso en el consumo de sodio se encuentra asociado a problemas de salud, principalmente a la hipertensión arterial, así como otros padecimientos del sistema cardiovascular, derrames cerebrales, problemas renales, pérdida de calcio, entre otros (Harvard T.H. Chan, 2019a).

En Costa Rica, desde 1970 las enfermedades cardiovasculares han sido las responsables de un 33% de las muertes de hombres y mujeres mayores de 30 años. Además, en los últimos 15 años se ha visto un aumento en los diagnósticos de hipertensión arterial, llegando a afectar en la actualidad a un 25% de la población costarricense (Ministerio de Salud, 2011).

En Estados Unidos, el consumo *per cápita* de sodio ronda los 3400 mg, en contraste con los 500 mg diarios de sodio necesarios para cumplir las funciones vitales y la ingesta diaria admisible de 1500 mg (Harvard T.H. Chan, 2019a). En Costa Rica, se estima que la población ingiere en promedio 7 gramos de sal por persona por día, lo que se traduce en 2800 mg de sodio consumidos, provenientes exclusivamente de la sal, con el desconocimiento de la cantidad de sodio derivado de otras fuentes como aditivos alimentarios o su presencia natural en algunos alimentos, lo que sobrepasa las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (Ministerio de Salud, 2011).

El Plan Nacional para la Reducción del Consumo de Sal / Sodio en la población de Costa Rica (Ministerio de Salud, 2011) propone que para el 2021 se logre una reducción en el consumo de sodio a 2000 mg diarios por persona (5 gramos de sal por persona por día), con el fin de disminuir la morbi-mortalidad causadas por la hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares.

Según el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), las mayores fuentes de sodio en la dieta humana corresponden a alimentos procesados, dentro de los cuales destaca el pan, la pizza, las carnes curadas, sopas, burritos, tacos, snacks como chips, palomitas de maíz, *pretzels* y galletas; pollo, queso y huevos preparados (Harvard T.H. Chan, 2019a). Es por ello que el rol de la industria alimentaria es de vital importancia en la reducción del consumo de sodio, debido a que este elemento está presente en ingredientes que potencian el sabor, ayudan a la preservación y mejoran la textura y apariencia de los alimentos (Ministerio de Salud, 2011; CDC, 2018).

Desarrollo de productos

En la actualidad, la elección de alimentos por parte de los consumidores no sólo se apoya en la composición nutricional de estos, sino también en los beneficios que otorgan a su salud. Es por ello que el desarrollo de nuevos productos o variantes de alimentos ya presentes en la dieta regular de los consumidores toma mayor importancia y supone un reto para la industria alimentaria, ya que se busca obtener productos que satisfagan los deseos del consumidor respecto a sus propiedades nutricionales, pero con un sabor, textura y apariencia que sean aceptados por el público meta (Díaz, 2016; Mintel, 2019). Debido a esto, parte del proceso de desarrollo de nuevos productos involucra la evaluación sensorial de estos, así como la determinación del comportamiento del producto en el almacenamiento (Díaz, 2016)

1. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se utiliza ampliamente en la industria de alimentos. Por lo general, en el desarrollo de productos se suelen utilizar las pruebas de agrado o aceptación, las cuales consisten en una serie de muestras que son evaluadas por consumidores en una escala hedónica según su aceptación o gusto por cada una de ellas. A partir de esto, es posible determinar cuál de las muestras presenta un mayor agrado en relación con los demás productos evaluados (Lezama, 2015).

a. Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados es de utilidad al analizar los datos obtenidos en una prueba de agrado. Los conglomerados son particiones de un conjunto de datos que se agrupan en subconjuntos definidos según un criterio particular, con el objetivo de facilitar el análisis tanto dentro como fuera de los grupos, identificando así similitudes y diferencias entre los conglomerados (Lezama, 2015).

2. Estabilidad en el almacenamiento

Una de las etapas finales del desarrollo de productos es el análisis del comportamiento del producto durante su almacenamiento, para asegurar que este cumplirá con los requerimientos establecidos por los consumidores durante su vida útil (Díaz, 2016).

Un parámetro importante en el envejecimiento del pan es la dureza, debido a que, con el pasar de los días, el pan tiende a perder agua por la retrogradación del almidón y la migración del agua de la miga hacia la corteza, de manera que la miga tiende a desmoronarse y se aprecia sequedad y dureza elevada al tacto, pierde suavidad, flexibilidad y la crujencia de la corteza (Paz, 2014).

4. Materiales y métodos

4.1 Localización

La composición fisicoquímica de las fracciones del bagazo se analizó en el Laboratorio de Química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). La preparación de la malta y la elaboración de las formulaciones de pan se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta Piloto del CITA. Los análisis físicos de los panes se realizaron en el laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos. Dichas instituciones se localizan en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca. El análisis sensorial se realizó de manera remota, por medio de la entrega personal de las muestras en las viviendas de los participantes.

4.2 Materia prima

a. Bagazo

El bagazo que se utilizó es el desecho de producción de un lote de una cerveza estilo *porter* (tipo ale) de la Cervecería Treintaycinco, la cual proporcionó las cantidades necesarias para la elaboración del proyecto. Para el propósito de este trabajo se llamó a la harina del bagazo de cerveza HBC.

b. Ingredientes

Las materias primas utilizadas para la elaboración del pan de molde fueron adquiridas en el comercio local. A continuación, se presenta una breve descripción de estas:

Cuadro III. Materias primas utilizadas en la elaboración de pan de molde con sustitución de HBC.

Materia prima	Marca	Ingredientes
Harina fuerte	FAHCASA	Harina fuerte de trigo
Levadura seca instantánea para masa dulce	Red Star	Levadura para panificación (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>), emulsionante, ácido ascórbico
Sal (cloruro de sodio)	Sal Sol	Cloruro de sodio, flúor, yodo
Azúcar blanca	Doña María	Sacarosa al 99,5% mínimo
Manteca	Clover	Aceite refinado de palma, T.B.H.Q. AL 0,02%
Propionato de calcio	Niacet	99% propionato de calcio

4.3 Descripción de los equipos

A continuación, se detallan los equipos utilizados en el tratamiento del bagazo y la elaboración del pan de molde:

Cuadro IV. Equipos utilizados en el tratamiento de la HBC y la elaboración de pan de molde con sustitución de HBC.

Equipo	Marca	Modelo
Secador	Excalibur	Parallexx
Procesador de alimentos	Black+Decker	HC150B
Tamizador	W. S. Tyler	RX-29 Rotap
Tamices	Cole Palmer Instruments	59984
Mezclador de volteo	Patterson Kelley	LB-7104
Balanza granataria	TAISA	EK-3000i
Batidora	Hobart	Ecomax ES10
Fermentador	Salva	AR-22/93
Horno	Salva	KX-5+H

4.4 Preparación de muestras y métodos de análisis

a. Tratamiento de la materia prima

El bagazo a utilizar provino de un único lote de una cerveza estilo *porter* de la cervecería Treintaycinco. Se transportó a los lugares de análisis utilizando hieleras, para posteriormente ser sometido a un proceso de secado con aire caliente para favorecer su conservación. Se hizo una molienda al bagazo seco utilizando un procesador de alimentos, debido a que, por motivos de la pandemia del COVID-19 hubo cierre de las instalaciones de la Universidad, por lo que no se pudo acceder a un equipo más especializado. El diagrama de flujo de proceso se detalla en la Figura 5.

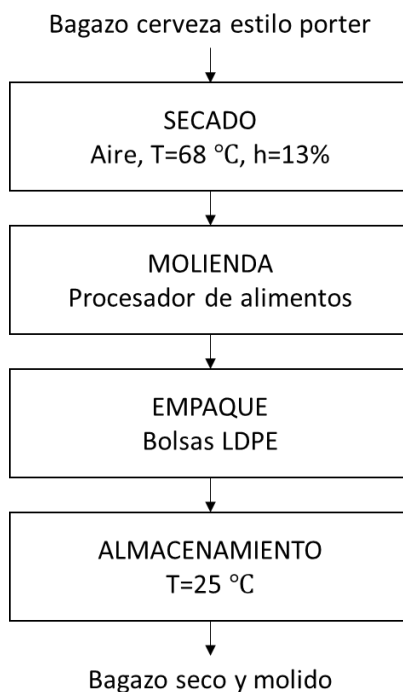


Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención de bagazo seco y molido

b. Pruebas preliminares en panificación para la selección del desecho de cerveza)

Se realizaron pruebas preliminares para evaluar la factibilidad de uso de los dos desechos de la producción de cerveza brindados por la empresa (bagazo y lodos de la fermentación), en un producto de panificación. Para ello, se elaboraron panes en moldes rectangulares de 15x9x5 cm con 140 g de masa, siguiendo el proceso que se muestra en la Figura 6, con una sustitución del 15% de cada subproducto sobre el 100% de harina de una formulación panadera reducida en sodio (Cuadro V), y se realizó una evaluación sensorial informal de ambas formulaciones. De allí, se obtuvo que el desecho de la fermentación presentaba un amargor muy intenso y desagradable, no apropiado para este tipo de productos, mientras que el desecho de la malta proporcionó un pan con características deseables, tales como una apariencia, sabor, aroma y textura adecuados. De esta manera, se seleccionó el bagazo como el desecho a trabajar. Adicionalmente, se realizaron pruebas con niveles de sustitución de HBC de 20 y 25%, obteniendo en ambos casos un producto muy fibroso y con una textura inadecuada. A partir de estos resultados y considerando que el contenido de fibra en un pan integral comercial ronda del 6-8% (INCAP & OPS, 2012), se propusieron para este estudio las sustituciones de 5, 10 y 15% para el desarrollo de los panes.

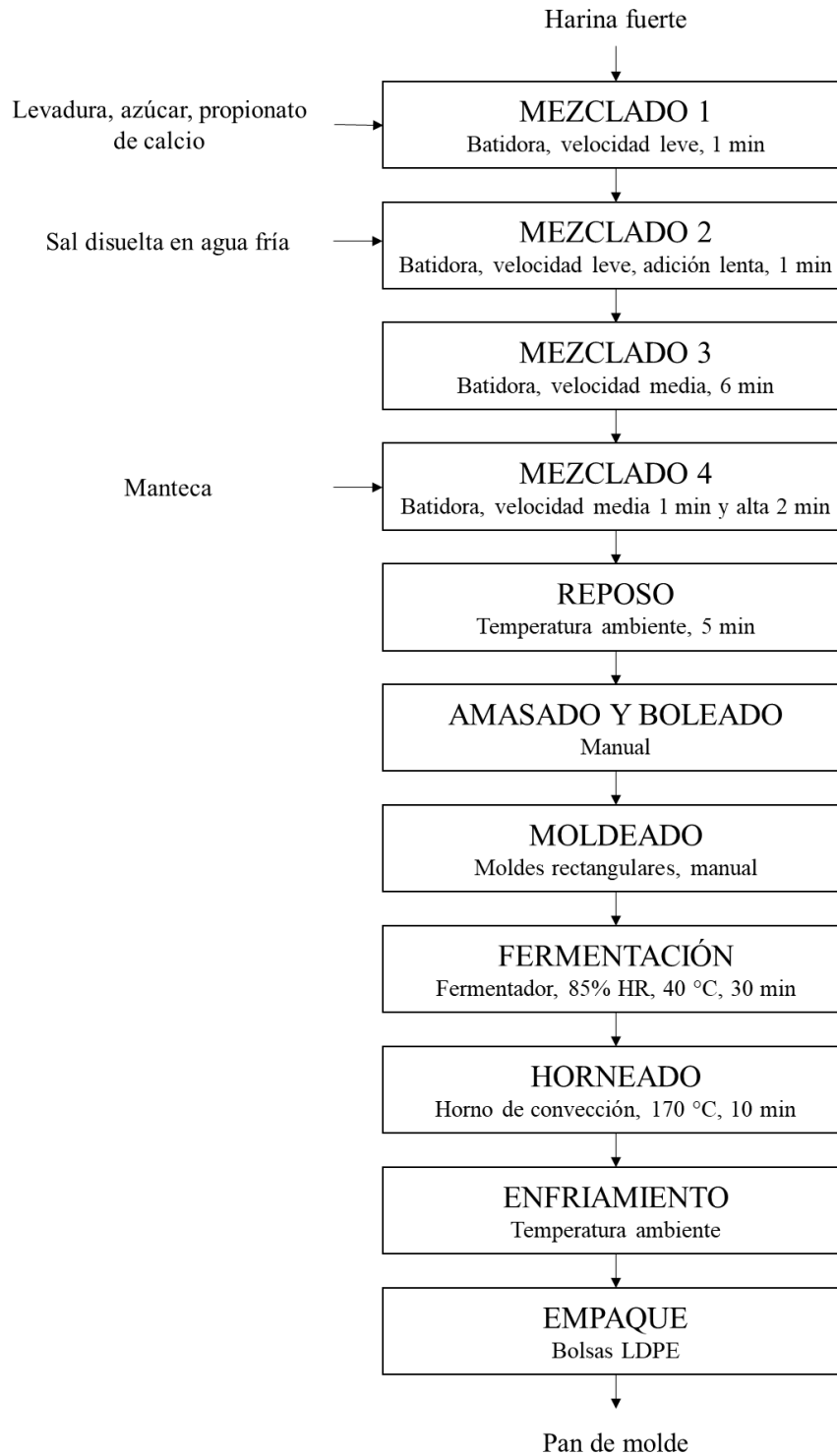


Figura 6. Proceso de elaboración de pan de molde reducido en sodio (Leandro, 2019).

Cuadro V. Formulación base de un pan reducido en sodio utilizada para la elaboración de panes con sustituciones de los dos desechos de producción de cerveza (bagazo y lodos de la fermentación).

Ingrediente	Porcentaje panadero (%)
Harina fuerte	100,00
Agua	56,30
Levadura dulce	3,30
Sal (cloruro de sodio)	1,46
Azúcar	4,00
Manteca	4,50
Propionato de calcio	0,30

Fuente: Benavides, 2017.

Adicionalmente, se evaluó de manera visual el comportamiento reológico de las masas de pan sustituidas con bagazo durante el mezclado y amasado, para valorar la posibilidad de implementación de las formulaciones en un proceso industrializado. De allí, se obtuvo que las masas con las sustituciones evaluadas de HBC presentan un comportamiento similar al control, formando una masa compacta y manejable, por lo que no es necesario hacer ajustes de equipo o proceso.

4.5 Pruebas definitivas

a. Caracterización de la composición físico-química de las fracciones del bagazo seco y molido

i. Tamizado del bagazo molido

Se realizó un tamizado del bagazo molido y seco, siguiendo el procedimiento descrito por Pérez (2010), utilizando un tamizador RX-29 Ro-Tap de la marca W.S. Tyler, con un juego de seis tamices (malla #25, #35, #45, #60, #80 y #120), los cuales poseen un tamaño de partícula de 710, 500, 355, 250, 180 y 125 μm respectivamente. Se obtuvieron las fracciones y se tomó como HBC la mezcla del retenido de las mallas #45, #60, #80 y #120 y el plato, ya que presenta un tamaño de partícula menor a 500 μm -según Matos y Chambilla (2010)-, es el tamaño ideal de fibra dietética para consumo humano. Para asegurar una mezcla uniforme, se utilizó un mezclador de volteo.

ii. Amilograma

Se realizó un amilograma a la HBC, utilizando un micro visco amilógrafo de Brabender con el método descrito por AACC 76-21.02, con la tara de la viscosidad inicial (Whitney & Simsek, 2013). A partir de los gráficos obtenidos para la HBC, se comparó cualitativamente para describir las características (viscosidad inicial, temperatura de gelatinización, pico de viscosidad y viscosidad final) de la HBC. Los análisis se realizaron por triplicado.

iii. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se realizó un análisis de la capacidad de retención de agua de la HBC, siguiendo el método descrito por Naranjo (2018), el cual consiste en una compilación de las condiciones más utilizadas en investigaciones de harinas, con la modificación de que se centrifugó a 1789 gravedades por 35 min por limitaciones del equipo. A partir de los resultados obtenidos, se calculó el contenido de agua necesario para cada una de las formulaciones con HBC. El análisis se realizó por triplicado.

iv. Análisis proximal

Se realizó por medio del laboratorio de química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) la determinación de humedad, grasa cruda, proteína, cenizas totales, carbohidratos totales, fibra dietética total y almidón resistente de la HBC, según se describe a continuación:

- Humedad: por medio de un análisis gravimétrico, siguiendo el método “P-SA-MQ002” (CITA, 2016a), basado en el método 920.151 de la AOAC.
- Grasa cruda: por extracción etérea, según lo establecido en el método “P-SA-MQ005” (CITA, 2017b) basado en el método de Carpenter *et al.* (1993).
- Proteína: por medio del método de Nitrógeno orgánico total, utilizando el procedimiento de Kjeldahl “P-SA-MQ-003” (CITA, 2016b) basado en el método 920.152 de la AOAC.
- Cenizas totales: por incineración de la muestra, siguiendo el método “P-SA-MQ-004” (CITA, 2017a) basado en el método 940.26 de la AOAC.
- Carbohidratos totales: por diferencia, a partir de los resultados obtenidos en los análisis anteriores (FAO, 2002).

- Fibra dietética total: por medio de una hidrólisis enzimática del almidón y la proteína, según se describe en procedimiento P-SA-MQ-007 (Torres, 2012), el cual está basado en el Método Oficial 985.29 de la AOAC.
- Almidón resistente: por medio del método enzimático descrito por Englyst *et al.* (2000), el cual se basa en el Método Oficial 2002.02 de la AOAC, utilizando el kit comercial Megazyme.

A partir de esta caracterización, se elaboró un cuadro para describir la composición química de la HBC. Se realizaron cuadros comparativos, de los primeros 6 parámetros contra los de la harina de trigo (HT). El contenido de almidón resistente se comparó contra la harina de trigo integral (HTI), ya que este tipo de harina presenta mayor contenido de almidón resistente (Arana, 2014).

b. Análisis de las características fisicoquímicas de un pan de molde reducido en sodio con sustituciones de 0, 5, 10 y 15% de HBC

i. Diseño experimental y análisis estadístico

Para el análisis fisicoquímico del pan con HBC, se aplicó un diseño irrestricto aleatorio unifactorial con cuatro niveles (sustituciones de 0, 5, 10 y 15%). Las variables respuesta (dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad; parámetros de color y volumen específico) se analizaron por medio de un ANDEVA con un α de 0,05, para determinar si existían diferencias entre los tratamientos. En los análisis que se encontró diferencia, se aplicó una prueba de Tukey para identificar cuáles son los tratamientos distintos. En contraparte, en las pruebas en las que no se encontraron diferencias entre ellos, se realizó una prueba de potencia para determinar la sensibilidad del análisis realizado.

ii. Análisis de textura

Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) utilizando el Analizador de Textura TA.XTPlus de Stable Microsystems, según se describe en el método Stable Micro Systems (2012). De allí, se obtuvieron los parámetros de dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad. Se realizaron 7 réplicas a 3 lotes del análisis de perfil de textura para cada uno de los niveles de sustitución.

iii. Análisis del efecto de la sustitución sobre el volumen específico del pan

Se evaluó por triplicado el volumen específico de bollos de pan de 3 lotes distintos sustituidos con la HBC, siguiendo el método aplicado por Pourafshar *et al.* (2014).

iv. Análisis de color de la corteza

El color se evaluó siguiendo el procedimiento descrito por HunterLab (2018), utilizando un colorímetro Color Flex EZ con un ángulo de apertura de 10° y un tipo de luz D65. Se determinaron por triplicado para 3 lotes los parámetros de luminosidad visual, las coordenadas cromáticas de rojo y verde y las de amarillo y azul (L^* , a^* y b^* , respectivamente).

c. *Comparación del efecto de los grados de sustitución (0, 5, 10 y 15%) de HBC sobre el agrado de un pan reducido en sodio*

i. Diseño experimental y análisis estadístico

Para la comparación del efecto de diferentes grados de sustitución de HBC sobre el agrado de pan reducido en sodio, se aplicó un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo unifactorial con cuatro niveles, que correspondieron a los cuatro niveles de sustitución aplicados: 0, 5, 10 y 15%.

Las variables respuesta (agrado general) fueron evaluadas mediante un análisis de conglomerados por individuo según lo descrito por De La Fuente (2011). Los conglomerados se analizaron por medio de un ANDEVA con un α de 0,05, para determinar si existían diferencias entre los tratamientos. Posteriormente, para cada uno de los conglomerados se aplicó una prueba de LSD para identificar cuáles eran los tratamientos distintos.

ii. Análisis sensorial

Se aplicó una prueba de agrado general de las diferentes sustituciones realizadas. Para ello, se presentaron a 100 consumidores las cuatro muestras codificadas y se solicitó indicar la intensidad del agrado de cada una de las sustituciones en una escala hedónica híbrida de 10 cm de longitud, anclada con verbos afectivos en 0 “me disgusta muchísimo”, 5 “ni me gusta ni me disgusta” y 10 “me gusta muchísimo” (Díaz, 2016; Ramírez, 2012; Villanueva, 2015). A partir de esto, se identificaron conglomerados para definir el efecto de la sustitución de HBC sobre el agrado de los consumidores.

d. Estudio de almacenamiento

Según Paz (2014), la calidad del pan durante el almacenamiento se ve deteriorada por diferentes factores, siendo la dureza uno de los que presenta mayor afectación. A partir de esto, se seleccionó este parámetro como indicador del envejecimiento del pan.

Se realizó un estudio de almacenamiento del pan con las cuatro sustituciones (0, 5, 10 y 15%) de HBC, los panes se empaclaron en bolsas de polietileno de baja densidad, sellados y almacenados a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA, durante 5 días. Se realizó un análisis de perfil de textura en el día 0 (control), 3 y 5, utilizando el Analizador de Textura TA.XTPlus de Stable Microsystems, según lo establecido por el método de Stable Micro Systems (2012). De allí, se tomó para este análisis únicamente el resultado de dureza, al ser este parámetro el que más se utiliza como referencia para definir la vida útil del pan. Se realizaron 7 réplicas de la medición de la variable respuesta (dureza).

i. Diseño experimental y análisis estadístico

Para el estudio de almacenamiento se utilizó un diseño irrestricto aleatorio, con un arreglo de dos factores: tiempo de almacenamiento con 3 niveles (0, 3 y 5 días) y porcentaje de sustitución con 4 niveles (0, 5 10 y 15% de HBC). Las variables respuestas se evaluaron mediante un ANDEVA con un α de 0,05, para determinar si existían diferencias en la dureza del pan durante el tiempo de almacenamiento. Posteriormente se aplicó una prueba de Tukey para identificar el factor significativo.

5. Resultados y discusión

Caracterización de la composición fisicoquímica de las fracciones del bagazo seco y molido

a. Tamaño de partícula: tamizado del bagazo molido

El tamizado del bagazo molido se realizó con el objetivo de seleccionar el tamaño de partícula de la HBC, de manera que no sobrepasara los 500 μm . A continuación, se presenta el porcentaje de retenido promedio en cada uno de los tamices.

Cuadro VI. Porcentaje de masa retenida en cada uno de los tamices durante el proceso de tamizado para la selección del tamaño de partícula de la HBC (n=14).

Número de tamiz	Apertura de tamiz (μm)	Porcentaje de retenido promedio (%)
25	710	42,8 \pm 6,5
35	500	14,7 \pm 1,1
45	355	13,3 \pm 2,4
60	250	15,8 \pm 3,2
80	180	10,6 \pm 1,4
120	125	2,6 \pm 1,0
Plato	0	0,5 \pm 0,5

En el cuadro anterior se observa que la mayor parte del bagazo tiene un tamaño de partícula superior a los 500 μm , lo que se evidencia en el porcentaje retenido en los tamices #25 y #35. Al sumar las fracciones restantes (desde el tamiz #45 hasta el #120), se obtiene un 42,8% de la masa inicial, lo que corresponde a la HBC, con el tamaño de partícula adecuada para uso industrial.

Özvural *et al.* (2009) realizaron la separación por tamaño de partícula de bagazo de cerveza seco y molido en tres porciones: fina (<212 μm), mediana (212–425 μm) y gruesa (425–850 μm) y analizaron la composición fisicoquímica de cada una de ellas. De allí, se obtuvo que la cantidad de proteína aumenta y la fibra disminuye conforme disminuye el tamaño de partícula. De esta manera, y de acuerdo con la literatura, al eliminar las fracciones con diámetros superiores a 500 μm , se

elimina principalmente fibra proveniente de las capas más externas del grano de cebada, permitiendo así concentrar otros nutrientes como la proteína, lo que le da un mayor valor a la HBC.

A continuación, se presenta una imagen de las fracciones más gruesas (>710 μm y 710-500 μm) obtenidas luego del proceso de tamizado.



Figura 7. Fracciones retenidas en el tamiz #25 (>710 μm) y #35 (710-500 μm) respectivamente obtenidas en el proceso de tamizado del bagazo seco y molido

En el retenido del tamiz #25 se observan fragmentos de distintas formas y colores, lo que sugiere una composición muy heterogénea en cuanto a las partes del grano de cebada que conforman esta fracción. Incluso, se aprecia una cantidad importante de puntos blancos, los cuales se relacionan con el endospermo, por su alto contenido de almidón. La maceración busca degradar las cadenas de almidón a azúcares fermentables y dextrinas, los cuales se disuelven en el mosto y continúan en el proceso de elaboración de cerveza, por lo que se espera que este subproducto no contenga grandes cantidades de almidón. Sin embargo, la curva de maceración de cada cerveza se define según las características deseadas en el producto final, por lo que la cantidad de almidón presente en el desecho es muy dependiente del proceso y de la formulación (Bamforth, 2009; Monge, 2016; Lynch *et al.*, 2016).

Cabe destacar que, por limitaciones causadas por la pandemia del COVID-19, el proceso de molienda se debió realizar con un procesador de alimentos en lugar de un molino especializado con tamiz incorporado. Por lo tanto, la composición de estas fracciones podría variar igualmente dependiendo del equipo con el que se realice la molienda.

En cuanto al retenido del tamiz #35, se observan fragmentos alargados de la cascarilla del grano de cebada, lo que sugiere que esta fracción está compuesta principalmente por fibra, como lo señalan Özvural *et al.* (2009) y Mussatto *et al.* (2006).

En la siguiente figura se presentan las fracciones restantes, las cuales componen la HBC.



Figura 8. Fracciones retenidas en el tamiz #45 (500-355 μm), #60 (355-250 μm), #80 (250-180 μm), #120 (180-125 μm) y en el plato (<125 μm) respectivamente, obtenidas en el proceso de tamizado del bagazo seco y molido

En la figura anterior se aprecia que el retenido del tamiz #45 aún posee fragmentos alargados de la cascarilla del grano de cebada, mientras que en los demás tamices se obtuvo más que todo un polvo con diferentes tamaños de partícula. La obtención de un polvo fino sin otros fragmentos es ideal, ya que se asemeja más a lo que se espera de una harina; además, evita que se observen trozos de cascarilla en los productos de panificación, lo que resultaría positivo al disminuir la afectación en las características visuales esperadas en este tipo de productos, beneficiando así el agrado general (Smith *et al.*, 2019).

b. Composición química: análisis proximal y determinación de las fracciones de almidón de la HBC

a. Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal de la HBC con el objetivo de caracterizar su composición y compararla de manera teórica con HT refinada que se utiliza regularmente en la producción de pan. En el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro VII. Composición química de la HBC en base húmeda obtenida por medio de análisis de laboratorio del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA).

Componente	HBC (g/100 g)
Humedad	6,05 ± 0,86
Proteína	15,13 ± 0,88
Carbohidratos totales	72 ± 14
Fibra dietética	35,9 ± 6,2
Grasa cruda	4,34 ± 0,36
Ceniza	2,52 ± 0,18

La composición de la HBC es muy variable debido a diversos factores, como los tipos de granos utilizados, la eficacia en la molienda y el proceso de maceración, entre otros (Lynch *et al.*, 2016; Mussatto *et al.*, 2006). En este caso, la HBC posee un 15,13% de proteína (equivalente a un 16,10% en base seca) y un 35,9% de fibra (equivalente a un 38,2% en base seca), lo cual se traduce en una materia prima rica en fibra y proteína.

Lynch *et al.* (2016), estudiaron la composición de HBC de distintas fuentes y determinaron que el contenido de proteína ronda el 20%, pero varía entre 14 y 31%. Skendi *et al.* (2018) señalan que es común que los subproductos obtenidos de la maceración de cervezas de tipo ale presenten un contenido proteico de alrededor de 14,9%, a diferencia del tipo lager, que poseen mayor cantidad de este componente.

En cuanto a la fibra, la HBC analizada contiene un 35,9%. Por lo general, el bagazo presenta entre un 50 a 80% en base seca de este componente, debido a que está conformado principalmente por las partes externas del grano de cebada con pequeños fragmentos de endospermo y embrión (Ktenioudaki *et al.*, 2012; Lynch *et al.*, 2016; Stojceska & Ainsworth, 2008). Sin embargo, en este caso, se realizó la separación de las fracciones más gruesas, lo que elimina gran parte de la cascarilla del grano y con ello se reduce el contenido de fibra.

Otro elemento de interés en este análisis es que el porcentaje de fibra en la HBC contrasta contra un alto contenido de carbohidratos totales, el cual duplica la cantidad de fibra, lo que implica que la mitad de los carbohidratos presentes corresponden a compuestos digeribles. Según explican Skendi

et al. (2018), el contenido de carbohidratos digeribles en el bagazo es muy variable, pero normalmente se encuentran niveles bajos de azúcares solubles (~3,5%) y alrededor de un 2% de almidón, aunque en algunos casos, se llega a tener un 13% de este componente.

El alto contenido de carbohidratos en la HBC en comparación con los datos de otros autores es consecuencia de la curva de maceración específica de la cerveza analizada, definida por el maestro cervecero, que da las características deseadas de la cerveza en cuestión (Monge, 2016). Además, la molienda y tamizado del bagazo para generar la HBC podría haber aumentado la concentración de almidón al lado de la eliminación de fibra proveniente de la cascarilla del grano.

Por otro lado, el contenido de grasa y cenizas de la HBC se encuentran dentro de los rangos encontrados en otros estudios. Según Lynch *et al.* (2016), el porcentaje de grasa en la HBC varía entre un 3-13%; sin embargo, Skendi *et al.* (2018) reportan que el bagazo usualmente presenta un contenido de grasa de 9 a 13%, proveniente más que todo de las fracciones más pequeñas, mientras que Stojceska & Ainsworth (2008) estudiaron una HBC con 8,32% de grasa y Ktenioudaki *et al.* (2012) una con un 4,5% de grasa. De allí, se determinó que la HBC analizada posee un contenido de grasa relativamente bajo, a pesar de que se concentraron las fracciones más pequeñas obtenidas en la molienda. Esto que resulta positivo ya que disminuye las posibilidades de deterioro de la materia prima por lipólisis en comparación con otras harinas con mayor contenido lipídico; además de que va de la mano con las tendencias de consumo donde se busca la reducción de grasa y calorías a nivel general (Crosa *et al.*, 2013; Mintel, 2019).

En cuanto a las cenizas, según Lynch *et al.* (2016) se espera que se obtengan valores entre 2 y 5%, mientras que Waters *et al.* (2012) reportan un 1,13% y Mussatto *et al.* (2006) un 3,4%, lo que ubica a la HBC analizada dentro de los rangos obtenidos en otros estudios.

A continuación, se presenta la composición química de la HBC transformada en base seca, para realizar una comparación más directa con la de HT.

Cuadro VIII. Composición química en base seca de la HBC obtenida por medio de análisis de laboratorio del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) y de la HT reportada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S. Department of Agriculture, 2019) transformada a base seca.

Componente	HBC (%)	HT (%)
Humedad	6,44	15,42
Proteína	16,10	13,83
Carbohidratos totales	77	83,71
Fibra dietética	38,2	2,77
Grasa cruda	4,62	1,92
Ceniza	2,68	0,54

Al comparar la HBC con la HT es evidente que el contenido de carbohidratos totales es menor, lo que además contempla un contenido de fibra casi 14 veces mayor al de la HT. Esto convierte a la HBC en una harina con un contenido de carbohidratos digeribles mucho menor, que, junto con un alto contenido de fibra, se asocia con una materia prima con un índice glicémico inferior (Reis & Abu-Ghannam, 2014).

Además, el contenido de proteína es mayor que el de la HT, lo que toma mayor importancia por la calidad de la proteína de la HBC, con un 30% de aminoácidos esenciales de los cuales un 14% aproximadamente corresponde a lisina, un aminoácido deficiente en la HT, abriendo así la posibilidad de obtener productos de panificación con un perfil proteico más completo (Lynch *et al.*, 2016; Jiang *et al.*, 2008).

En cuanto a la grasa cruda, el bagazo posee más del doble de este componente que la HT, lo cual es de esperarse al ser producto de un grano íntegro contra harina refinada (Harvard T.H. Chan, c2021). Según Waters *et al.* (2012), este contenido lipídico presenta la ventaja de que más del 50% son ácidos grasos esenciales; por otro lado, Fărcaș *et al.*, (2014) y Niemi *et al.*, (2012) señalan que el bagazo contiene principalmente triglicéridos, más una cantidad importante de ácidos grasos libres, más que todo ácido linoleico (ω -6), palmítico y oleico (ω -9), los cuales representan desde un 11% hasta un 30% del contenido lipídico, dependiente de la curva de maceración de la cerveza específica.

Sin embargo, esto genera que la HBC tenga un deterioro más rápido que la HT, debido a la oxidación lipídica, lo cual pone en desventaja a esta materia prima (Delgado, 2004).

El caso de las cenizas se presenta un comportamiento similar, pues el contenido de este componente quintuplica el de la HT, debido a la naturaleza del grano integral, el cual presenta una mayor proporción de minerales, proveniente de las capas más externas y del germen (Harvard T.H. Chan, c2021). Al comparar el contenido de cenizas de la HBC contra el de harina de trigo integral (HTI), se tiene que la HBC presenta un contenido similar de este componente, pues el de la HTI ronda los 1,17-2,96% (Czaja *et al.*, 2020). La composición mineral de la HTI está constituida principalmente por fósforo, potasio, magnesio y calcio, similar a la HBC, la cual se diferencia por la presencia mayoritaria de silicio en lugar de potasio (Czaja *et al.*, 2020; Lynch *et al.*, 2016). A pesar de que, desde el punto de vista nutricional, es deseable aumentar el contenido de minerales en los alimentos, tecnológicamente en el pan se da un efecto negativo, ya que se genera el oscurecimiento del producto y una mayor actividad enzimática (Czaja *et al.*, 2020).

Se determinó el contenido de almidón resistente de la HBC para caracterizar de manera más específica su composición de carbohidratos y compararla contra la de la harina de trigo integral. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro IX. Contenido de almidón resistente en la HBC determinada utilizando el kit comercial Megazyme mediante el método enzimático 2002.02 de la AOAC y de la harina de trigo integral (HTI) estudiada por Arcila & Rose (2015) utilizando el mismo kit, expresados como gramos por cada 100 gramos de harina.

Componente	HBC (g/100 g)	HTI (g/100 g)
Almidón resistente	1,545 ± 0,087	0,544

Según Arcila & Rose (2015), el contenido de almidón resistente (AR) de harina de trigo integral es de 1,03% del contenido total de almidón (52,8% de la harina integral), lo que se traduce en 0,544 g de AR/100 g de harina. En contraste, la HBC posee 1,545 g de AR/100 g de harina, prácticamente 3 veces la cantidad que posee la HTI. Esto se debe a que los procesos por los que pasa la malta desde la molienda y durante el proceso de maceración generan cambios sobre la estructura del almidón. La molienda parcial de granos genera la formación de AR tipo 1, el cual es físicamente inaccesible;

mientras que en la maceración el almidón se hidrata, gelatiniza y posteriormente se retrograda, produciendo AR tipo 3 (Alsaffar, 2011). Durante el proceso de secado, también se da una gelatinización parcial del almidón, así como la formación de complejos amilosa-lípidos y almidón resistente (Skendi *et al.* 2018).

Skendi *et al.* (2018) sugieren que la amilosa presenta cierta resistencia a la digestión enzimática durante el proceso de maceración, pues la proporción de amilosa en el almidón residual en el bagazo ronda el 60%, la cual es mayor a la razón de amilosa:amilopectina de la malta. De igual manera, la curva de maceración y el tipo de maltas y adjuntos añadidos tienen un efecto considerable en la composición del almidón restante en el bagazo (Lynch *et al.*, 2016). De allí, suponiendo que el 36,1% de carbohidratos digeribles (restando el contenido de fibra de los carbohidratos totales) presentes en la HBC correspondan únicamente a almidón, aproximadamente un 4,28% de este sería AR; sin embargo, es probable que los carbohidratos digeribles engloben también azúcares simples y dextrinas, lo que disminuiría el porcentaje de almidón y por ende aumentaría el porcentaje de AR con respecto a la cantidad de almidón total. Un mayor contenido de AR tiene una correlación directa con la carga glicémica de la materia prima, lo que resulta sumamente positivo en el desarrollo de una harina apta para su incorporación en productos que regularmente tienen un índice glicémico alto (Díaz, 2016; Reis & Abu-Ghannam, 2014).

c. Análisis de comportamiento de la HBC para el horneado: capacidad de retención de agua (CRA) y amilograma

Se determinó la CRA de la HT y la HBC para definir el porcentaje de agua en las formulaciones según el nivel de sustitución con HBC. Además, se realizaron amilogramas a cada una de las harinas con el objetivo de caracterizar su comportamiento durante el proceso de horneado. A continuación, se presenta la CRA de las harinas y los resultados extraídos de los amilogramas.

Cuadro X. Capacidad de retención de agua, viscosidad inicial, temperatura de gelatinización, pico de viscosidad, viscosidad final de HT y HBC para el análisis de su comportamiento durante el horneado.

Parámetro	HBC	HT
CRA (g harina húmeda/g harina)	3,8967	1,6548
Viscosidad inicial (BU)	0	0
Temperatura de gelatinización (°C)	29,7	73,7
Pico de viscosidad (BU)	11	139
Viscosidad final (BU)	7	247

La HBC presenta un comportamiento sumamente distinto a la HT para los parámetros analizados. Con respecto a la CRA, se observa que la HBC más que duplica la de la HT. Okuda *et al.*, (2016) afirman que la CRA aumenta linealmente con el contenido de proteína de la harina, mientras que Licciardello *et al.*, (2014) señalan que la CRA de manera indirecta se puede relacionar con la cantidad de almidón retrogradado, ya que una CRA alta indica almidón gelatinizado, mientras que una menor CRA se relaciona con almidón que ha perdido la capacidad de ligar agua, como el almidón resistente. En el caso de la HBC, se podría ligar este resultado al contenido de AR y proteína; sin embargo, es probable que la alta CRA se deba más que todo a la mayor cantidad de fibra y menor de almidón en comparación con la HT, ya que la fibra tiene una gran capacidad de ligar agua, mayor que la del almidón (Goldstein *et al.*, 2010).

Waters *et al.* (2012) analizaron el comportamiento de mezclas de HT con adición de bagazo de cerveza utilizando un farinógrafo, obteniendo como resultado un aumento en la absorción de agua con el aumento en el contenido de bagazo, lo que coincide con los resultados obtenidos. Esto es vital a la hora de formular un producto de panificación con adición de HBC, ya que una mayor CRA implica que se necesita más cantidad de agua para lograr formar una masa manejable tecnológicamente, que no sea muy seca ni pegajosa, y que permita obtener un producto con características sensoriales adecuadas. Si el contenido de agua en la masa está por debajo del valor óptimo, el tiempo de mezclado aumenta y el volumen del pan obtenido es menor, lo que resulta negativo en términos de proceso y también comercialmente (Okuda *et al.*, 2016). De allí el valor de conocer la CRA de la harina, de manera que la cantidad de agua se ajuste según la cantidad de HBC

que se agrega a una receta definida. Además, una materia prima con una alta CRA como la de la HBC aporta ventajas al agregarla en formulaciones de pan, ya que retrasa el proceso de envejecimiento y con ello se aumenta la vida útil del producto (Karunaratne & Pamunuwa, 2017).

En cuanto a los parámetros de viscosidad obtenidos por medio de los amilogramas realizados, se observó que la HBC no posee propiedades marcadas en cuanto a aportar viscosidad a la masa durante el horneado, a pesar de que inicialmente su mayor CRA genera un aumento en la viscosidad de la masa, que se contrarresta con el ajuste en la cantidad de agua adicionada en la formulación. Este comportamiento durante el horneado se asocia con la composición del almidón de la HBC, causada por los procesos por los que pasa la cebada hasta transformarse en esta harina. Durante la maceración, el almidón es parcialmente digerido por las enzimas propias de la cebada, lo que disminuye la longitud de las cadenas de almidón y genera la formación de dextrinas en su lugar (Gomaa, 2018). Además, en este proceso, los gránulos de almidón gelatinizan, es decir, absorben agua, se hinchan y pierden su estructura. Al enfriarse, las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan y pierden agua, formando una estructura cristalina distinta a la del almidón nativo (Luna & Bárcenas, 2011). Posteriormente, durante el proceso de secado, los granos se exponen a condiciones de tiempo y temperatura que generan que el almidón no digerido nuevamente se gelatinice de manera parcial o forme complejos amilosa-lípidos o almidón resistente (Skendi *et al.* 2018).

Esto permite predecir que, al realizar mezclas de HT con HBC, se tendrá un comportamiento distinto en la elaboración de productos horneados, ya que las características de los almidones presentes en ambas harinas son muy diferentes, como se observa en el Cuadro X. Al agregar HBC, la masa será más viscosa y el aumento en este parámetro durante el horneado será leve, en contraste con la HT, que aporta menos viscosidad a la masa y mucha más en el horneado. Según Arana (2014), este parámetro es importante ya que facilita el desarrollo de una miga cohesiva que atrapa el gas y así evita que colapse la corteza; sin embargo; una viscosidad de la masa muy alta genera que el pan no crezca de la misma manera, ya que tiene más resistencia a la extensión por acción del CO₂, lo que se traduce en un pan más pesado, con una miga menos aireada y un volumen específico menor. Por lo tanto, sustituciones muy elevadas de HBC podrían afectar de manera importante las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final.

Por último, al analizar la temperatura de gelatinización, se observa que para la HBC se obtuvo un resultado cercano a los 30 °C. Esto se debe a que, como no se encontró un aumento importante en la viscosidad de la mezcla por trabajar con almidón pregelatinizado, el equipo registra la temperatura que se estableció como inicial del análisis; sin embargo, por su naturaleza, no se puede definir una temperatura de gelatinización para esta harina.

Considerando el comportamiento de la HBC evidenciado por los amilogramas, es vital realizar pruebas en la elaboración de pan, partiendo de sustituciones bajas de HBC, de manera que se determine el efecto de esta sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del producto terminado.

Análisis de las características fisicoquímicas de un pan de molde reducido en sodio con sustituciones de 0, 5, 10 y 15% de HBC

a. Análisis de textura

Se elaboraron 4 formulaciones de pan reducido en sodio con sustituciones de 0% (control), 5%, 10% y 15% de HBC sobre la cantidad de harina. A los panes elaborados se les realizó un análisis de textura, los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Cuadro XI. Dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad de pan reducido en sodio con cuatro sustituciones de HBC: 0, 5, 10 y 15%.

Porcentaje de sustitución (%)	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Masticabilidad (N*m)
0 (control)	3,543 a	0,549 a	10,525 a	0,020 a
5	3,502 a	0,555 a	10,646 a	0,021 a
10	4,282 a	0,500 b	10,252 a	0,022 a
15	4,506 a	0,465 b	8,750 b	0,018 a

El análisis de textura demostró que el pan reducido en sodio no presenta diferencias significativas en cuanto a dureza (potencia de prueba 0,61) y masticabilidad (potencia de prueba 0,81) al variar el porcentaje de HBC en la formulación, pero sí en la cohesividad y elasticidad de estos. Waters *et al.* (2012) evaluaron la textura de panes con sustitución de HBC y encontraron que la dureza tiende a

aumentar con la adición de esta harina, debido a la presencia de arabinosanos, glucanos y xilooligosacáridos, los cuales interfieren en la formación de la red viscoelástica al generar una disrupción física en la matriz y al restringir la disponibilidad del agua en la formulación (Lynch *et al.*, 2016); sin embargo, este comportamiento no se evidenció en esta investigación.

En este caso, se presentó una disminución de la cohesividad a partir de un 10% de HBC, sin diferencias significativas entre 10 y 15% de sustitución. A pesar de que la HBC contiene gluten, la sustitución de HT por HBC genera una reducción en el contenido de esta proteína en el pan, lo que, sumado a la disrupción física que genera la fibra en la red de gluten, podría explicar la disminución en la cohesividad. Aunado a esto, Güemes *et al.* (2009) encontraron que los panes con un mayor contenido de grasa tienden a ser menos cohesivos, lo que concuerda con los resultados obtenidos. Esto implica que los enlaces que unen las partículas en la estructura de estos panes son más débiles que los de las formulaciones de 0 y 5%, lo que causa que las sustituciones mayores se rompan con mayor facilidad (Hernández & Franco, 2016; Hleap & Velasco, 2010).

Con respecto a la elasticidad, se observó que las sustituciones de 5 y 10% no presentaron diferencias contra el pan control; sin embargo, al aplicar una sustitución del 15%, se da una disminución significativa en la elasticidad del pan, probablemente por el menor contenido de gluten al aumentar el nivel de sustitución. Lo anterior implica que una sustitución del 15% afecta significativamente la textura del pan, generando un producto que no recupera su forma de la misma manera que el pan control. En contraste, el tratamiento con 5% de HBC estadísticamente no se comporta diferente que el control para los parámetros de textura analizados.

Por último, al analizar la masticabilidad se encontró que los panes con los distintos grados de sustitución no presentaron diferencias significativas, lo que indica que la adición de HBC no genera cambios en el trabajo que se debe ejercer para masticar los panes hasta que estén listos para ser tragados (Singh *et al.*, 2014; Matos & Rossel, 2012). Lo anterior resulta muy positivo partiendo de que la formulación del pan control tiene una masticabilidad adecuada, de manera que se puede concluir que los panes con HBC también presentan un valor conveniente para este parámetro.

b. Análisis del efecto de la sustitución sobre el volumen específico del pan

Se realizó la medición del volumen específico de los panes reducidos en sodio elaborados con diferentes sustituciones de HBC. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro XII. Volumen específico en mL por gramo de masa de pan reducido en sodio con cuatro sustituciones de HBC: 0, 5, 10 y 15%.

Porcentaje de sustitución (%)	Volumen específico (mL/g)
0 (control)	4,10 a
5	3,70 b
10	3,64 b
15	2,80 c

El volumen específico del pan reducido en sodio se ve afectado significativamente por la adición de todos los porcentajes aplicados de HBC. Los panes con 15% de HBC mostraron un menor volumen específico que los que contenían 5 y 10% de dicha harina, que, en comparación con el control, también mostraron valores inferiores en este parámetro. Sin embargo, las sustituciones de 5 y 10% presentaron un buen volumen, el cual se ubica entre 3 y 4 mL/g, como se espera generalmente para un pan (Arendt & Zannini, 2013). La mayor viscosidad de la masa y la disminución en el contenido de gluten por la adición de HBC genera que los panes con mayor cantidad de esta harina tengan una estructura un poco más densa y un volumen específico menor (Lynch *et al.*, 2016; Waters *et al.*, 2012).

Stojceska & Ainsworth (2008) aplicaron sustituciones de 10, 20 y 30% de HBC, obteniendo una disminución en el volumen específico al aumentar el contenido de HBC, con valores entre 2,06 y 3,22 mL/g. En este caso, los panes con 10% (al igual que los de 0 y 5%) de HBC presentaron un volumen específico superior a los obtenidos en dicho estudio, mientras que la sustitución de 15% presenta un volumen dentro del rango reportado por dichos autores. Esto resulta valioso al trabajar con pan reducido en sodio, ya que regularmente se espera que un pan con un menor contenido de sal posea un menor volumen, pues este ingrediente participa en el fortalecimiento de la red de gluten (International Food Information Council Foundation, 2010).

En la industria panadera, el volumen es uno de los parámetros de calidad más importantes, ya que, el consumidor asocia que un pan con el mismo peso, pero mayor volumen, tendrá una miga más aireada y una mejor textura. Además, a nivel industrial, la estandarización del volumen es importante al incorporar nuevas materias primas en los procesos existentes, de modo que la

manipulación en procesos de corte y empaque no requiera de ajustes significativos en el proceso (Stable Micro Systems, 2020).

En la siguiente figura, se presenta una rebanada de cada uno de los panes con las sustituciones de HBC aplicadas.

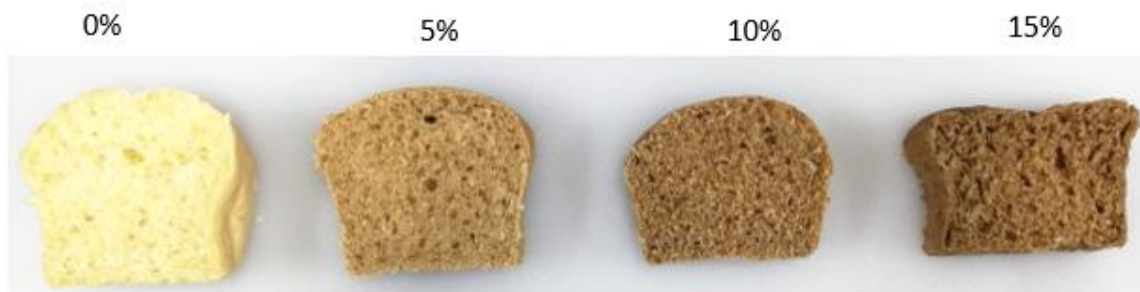


Figura 9. Rebanadas de pan reducido en sodio aplicando sustituciones de 0, 5, 10 y 15% de HBC respectivamente

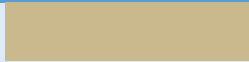



En la figura anterior, es notable que existen diferencias perceptibles en el volumen específico de los panes elaborados según el porcentaje de sustitución aplicado. A pesar de la diferencia en este parámetro, se observa que el tratamiento con 15% de HBC presentó una forma distinta a las demás formulaciones. Esto se debe posiblemente a la dilución del gluten y al efecto que genera la fibra de la HBC en la formación de la red viscoelástica; además, la HBC aporta una mayor viscosidad a la masa, lo que no permitió que esta creciera de manera adecuada y por lo tanto causó que no se formara su característica estructura convexa antes de culminar el proceso de horneado (Lynch *et al.*, 2016).

De esta manera, en cuanto al volumen específico, es indiferente aplicar una sustitución de 5 o 10%, por lo que sería ideal mantener la formulación con 10% de HBC para maximizar los beneficios sin afectar tanto el volumen y la forma del pan.

c. Análisis de color de la corteza

Se realizó la medición del color de la corteza de los panes reducidos en sodio elaborados con diferentes sustituciones de HBC. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro XIII. Parámetros de color L, a* y b* y color asociado a estos valores de la corteza de pan reducido en sodio con cuatro sustituciones de HBC: 0, 5, 10 y 15%.

Porcentaje de sustitución (%)	L	a*	b*	Color
0 (control)	75,70 a	0,83 a	24,46 a	
5	63,45 b	3,91 b	23,23 ab	
10	56,69 c	5,49 c	22,44 bc	
15	51,23 d	5,75 c	20,84 c	

En el cuadro anterior se observa que hay diferencias significativas en todos los parámetros de color para las sustituciones aplicadas de HBC. En el caso de la luminosidad (L), esta disminuye conforme aumenta el nivel de sustitución, lo que indica que la adición de bagazo genera que el pan adquiera una tonalidad más cercana al negro que al blanco.

Por otro lado, el parámetro a* presentó un aumento al aumentar el contenido de HBC, aunque no se encontraron diferencias significativas entre 10 y 15%. Lo anterior indica que la adición de HBC añade una tonalidad más rojiza a la coloración de la corteza del pan, en comparación con el pan control, cuyo color casi no involucra este parámetro.

En cuanto al parámetro b*, se observó una tendencia a la disminución de este conforme aumenta el contenido de HBC, lo que implica una reducción en la tonalidad amarillenta. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre los panes con 0 y 5%, con 5 y 10% y con 10 y 15% respectivamente. A partir de esto, se determinó que los panes con 10 y 15% de HBC son significativamente distintos al control respecto a todos los parámetros, pero solo se diferencian entre ellos en la luminosidad. Por otro lado, el pan con 5% de sustitución no presenta diferencias con el control en su coloración amarilla; sin embargo, sí presenta un color más oscuro y rojizo que este.

Al analizar las diferencias de la corteza directamente con la integración de los parámetros L, a* y b*, es evidente que todos presentaron diferencias entre sí. Al aumentar la sustitución de HBC, se

observó una corteza con un color café más oscuro, lo que se asocia a un pan integral (Smith *et al.*, 2019). En la siguiente figura se presentan los panes obtenidos con las diferentes sustituciones:



Figura 10. Pan reducido en sodio elaborado con diferentes sustituciones de HBC, de izquierda a derecha: 0, 5, 10 y 15%

En la figura anterior resulta evidente la diferencia en la coloración del pan, el cual se observa más oscuro y menos brillante conforme aumenta el nivel de sustitución. En el caso del pan con 5%, este se observa más similar al pan control, con la diferencia de que en la corteza se aprecian puntos más oscuros producto de la adición de HBC, lo que se puede apreciar en las 3 formulaciones con esta harina. De igual manera, los panes con 10 y 15% se asemejan más entre sí que el pan control, como se discutió anteriormente.

Comparación del efecto de los grados de sustitución (0, 5, 10 y 15%) de HBC sobre el agrado de un pan reducido en sodio

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de agrado general de los panes con diferentes grados de sustitución de HBC, realizada a 100 consumidores, con el objetivo de determinar la formulación de mayor aceptación.

Adicionalmente, se realizó un análisis de conglomerados, para determinar si existían segmentos entre los consumidores. A partir de esto, se obtuvieron tres grupos específicos: un conglomerado

más representativo que abarca el 49% de los consumidores ($n = 49$), seguido de otro con un 28% ($n = 28$) y por último el menos representativo con el 23% de los consumidores ($n = 23$).

A cada uno de estos segmentos, se le realizó un análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para determinar las diferencias en el agrado de los panes con las cuatro sustituciones de HBC. De allí, se obtuvo que, para el segmento mayoritario, no existen diferencias ($p = 0,2663$) en el agrado de los panes al variar el porcentaje de sustitución. En contraparte, los dos conglomerados restantes sí reflejaron diferencias ($p < 0,0001$) en la aceptación de las distintas formulaciones. En la siguiente figura se presentan los resultados obtenidos:

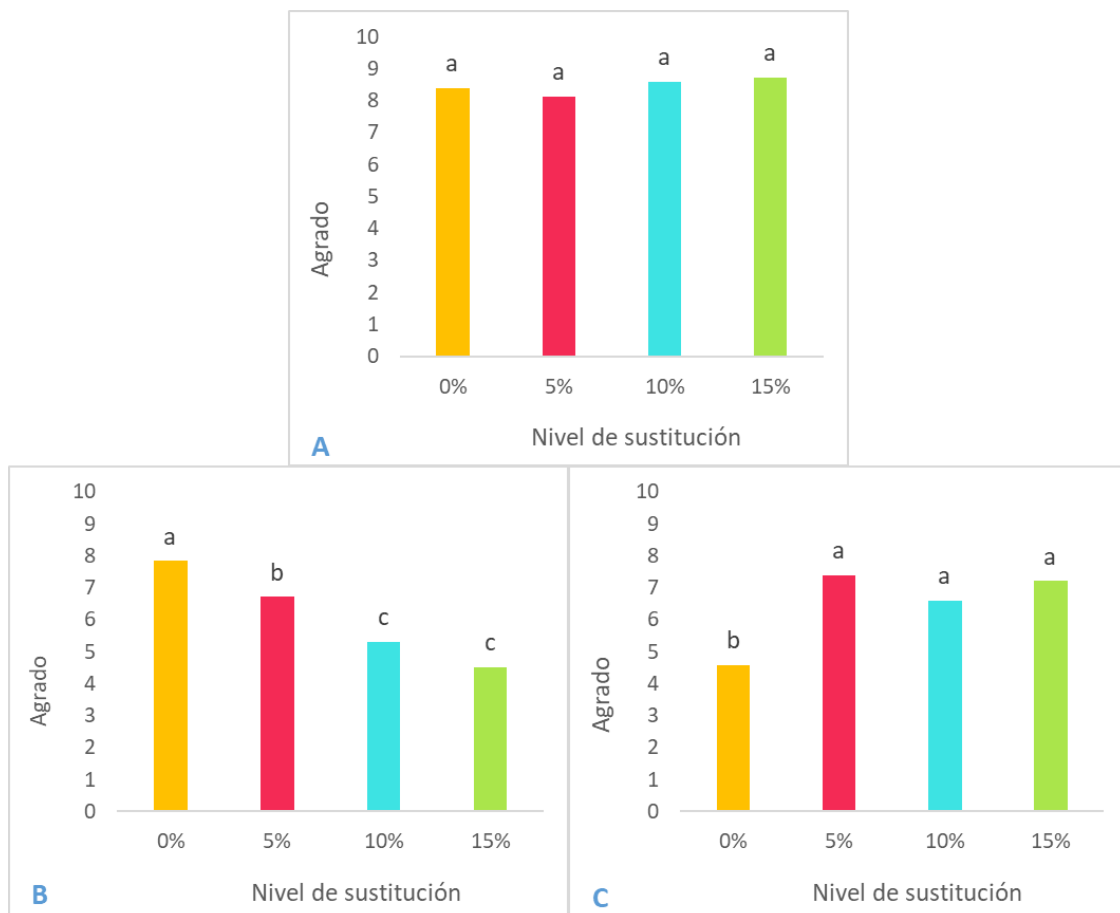


Figura 11. Valores promedio de agrado general para cada nivel de sustitución de HBC para cada conglomerado. A) $n=49$, B) $n=28$ y C) $n=23$. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$)

Al analizar el conglomerado más representativo (conglomerado A), se observa que la percepción del agrado de los consumidores no presenta diferencias al variar el porcentaje de HBC en la formulación del pan reducido en sodio. Además, todos los tratamientos presentaron valores superiores a 8, por encima de “ni me gusta, ni me disgusta” lo que evidencia que a los consumidores les agradaron todas las formulaciones. De esta manera, es posible concluir que, para este segmento, el nivel de sustitución de HBC es indiferente en términos de agrado, por lo que se podría aplicar incluso la sustitución de 15%, con todos sus beneficios asociados. Lo anterior resulta especialmente valioso al ser resultado del análisis del conglomerado más grande.

En contraparte, el segundo conglomerado refleja una disminución en el agrado conforme aumenta el contenido de HBC, sin presentar diferencias entre un 10 y 15% de sustitución. Estas últimas rondan la calificación de 5, lo que señala que a los consumidores les es indiferente en términos de agrado. De allí, se concluye que para un 28% de los consumidores, lo máximo que se podría aplicar es una sustitución del 5% de HBC, ya que esa presentó un valor promedio de agrado por encima de 5. En este grupo, la muestra de mayor agrado fue el pan sin HBC, lo que indica que probablemente estas personas prefieren los panes blancos, aunque digan consumir pan integral.

Por último, para el tercer conglomerado se observa que el pan sin sustitución presenta un agrado por debajo de la categoría “ni me gusta, ni me disgusta”, lo que indica que a este conglomerado no le agrada el pan sin sustitución. En contraste, las formulaciones con algún porcentaje de HBC presentaron valores superiores a 5, lo que indica que a los consumidores les agrada más el pan al agregar HBC. Además, en la Figura 11 se observa que no se encontraron diferencias entre los niveles de sustitución de HBC, por lo que igualmente se podría aplicar la sustitución de 15% sin afectar el agrado de los consumidores que pertenecen a este segmento. Estas personas probablemente son consumidores de productos integrales, pues calificaron con menor agrado el pan blanco y no hay diferencias en el agrado de las muestras con HBC.

Cualitativamente, gracias a la metodología aplicada para realizar el análisis sensorial, se obtuvo retroalimentación de algunos de los panelistas, lo que arrojó información de interés a partir de las costumbres de consumo de pan de los panelistas. A las personas que acostumbran a consumir pan blanco o de panadería regular les agrada más el pan sin HBC, lo que indica que deben pertenecer al segundo conglomerado. Por otro lado, quienes consumen pan integral, de masa madre u otros tipos

de pan menos convencionales, les gusta más algún grado de sustitución de HBC que el pan blanco, por lo que es probable que pertenezcan al tercer conglomerado.

Adicionalmente, no se conoce si los consumidores se interesarían más en el pan con adición de HBC al conocer los beneficios que aporta en comparación con el pan blanco (control): mayor contenido de proteína con aminoácidos esenciales ausentes en la HT, menos carbohidratos digeribles, más fibra y almidón resistente, lo que posiblemente además conlleva un menor índice glicémico, además de generar un pan con un menor aporte calórico.

A partir de esto, se concluye que para los conglomerados 1 (n=49) y 3 (n=23) se podría aplicar cualquier grado de sustitución sin afectar su agrado, lo que permite sustituir hasta un 15% de HT refinada por HBC, lo que permite maximizar los beneficios obtenidos del bagazo, dentro de los porcentajes de sustitución analizados en este estudio.

Estudio de almacenamiento

Se evaluó el comportamiento de la dureza de los panes con todas las sustituciones aplicadas de HBC, durante 5 días de almacenamiento. A continuación, se presenta la probabilidad asociada a los factores analizados sobre la dureza del pan reducido en sodio con sustituciones de HBC.

Cuadro XIV. Probabilidad asociada a los factores tiempo, porcentaje de sustitución de HBC y su interacción sobre la dureza del pan durante durante 5 días de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA.

Factor	Probabilidad
Tiempo	0,0020
Porcentaje de sustitución de HBC	0,0013
Tiempo*porcentaje de sustitución de HBC	0,9511

En el cuadro anterior se aprecia que los factores tiempo y porcentaje de sustitución de HBC presentan una probabilidad menor a 0,05, lo que indica que existen diferencias significativas en la dureza de los panes debido a estos factores. Sin embargo, no existe interacción entre estos factores,

lo que indica que el efecto del tiempo es independiente del efecto del porcentaje de sustitución. Los resultados del efecto del tiempo de almacenamiento se presentan a continuación:

Cuadro XV. Efecto del tiempo de almacenamiento de panes reducidos en sodio con adición de HBC sobre la dureza durante 5 días de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA.

Tiempo (días)	Dureza (N)
0	4,975 a
3	6,433 ab
5	7,748 b

El tiempo de almacenamiento tiene un efecto significativo sobre la dureza del pan, sin importar el nivel de sustitución de HBC. Se presentó un aumento en la dureza con el tiempo de almacenamiento; sin embargo, a los 3 días no se encontraron diferencias entre la dureza de los panes analizados, sino que el aumento en este parámetro no se evidenció sino hasta los 5 días de almacenamiento en comparación con los panes recién elaborados. Varios autores señalan que el aumento en la dureza del pan es el principal factor a tomar en cuenta en el envejecimiento del pan (Luna & Bárcenas, 2011; Paz, 2014; Purhagen *et al.*, 2011). Por lo general, la dureza del pan se relaciona directamente con la retrogradación del almidón y la pérdida y redistribución del agua de la miga hacia la corteza del pan (Luna & Bárcenas, 2011).

A continuación, se presentan los resultados del efecto del porcentaje de sustitución de HBC sobre la dureza del pan en el almacenamiento.

Cuadro XVI. Efecto del porcentaje de sustitución de HBC en panes reducidos en sodio sobre la dureza durante 5 días de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de vida útil del CITA.

Porcentaje de sustitución (%)	Dureza (N)
0 (control)	4,800 a
5	5,492 ab
10	7,967 c
15	7,282 bc

En el cuadro anterior se observa que la dureza durante el almacenamiento se ve significativamente afectada por el porcentaje de HBC que contiene cada formulación; es decir, a pesar de que inicialmente el pan fresco no presenta diferencias en la dureza entre formulaciones, durante el tiempo de almacenamiento este parámetro cambia a un ritmo distinto según el porcentaje de adición de HBC, de manera que sí se perciben diferencias en el tiempo.

En general, se observa una tendencia creciente de la dureza al aumentar el contenido de HBC; sin embargo, un 5% de HBC no presenta diferencias significativas contra el pan control durante el periodo analizado. De la misma manera, no se encuentran diferencias entre un 10% y un 15% de sustitución, ni entre 5 y 15%. Como se mencionó anteriormente, el aumento en la dureza del pan se debe a la retrogradación del almidón, más específicamente a la amilopeptina, ya que la amilosa por lo general cristaliza en las primeras horas luego del horneado (Purhagen *et al.*, 2011). Según Luna & Bárcenas (2011), existe una relación directamente proporcional entre el contenido de humedad y la velocidad de retrogradación del almidón, lo que podría explicar el aumento en la dureza de los panes con mayor contenido de HBC, ya que esta materia prima le otorga una mayor CRA a la matriz y, por lo tanto, el pan debería tener un contenido de humedad mayor al aumentar el porcentaje de HBC; sin embargo, es necesario realizar la medición de humedad de los panes para confirmar esta hipótesis.

En conclusión, tomando en cuenta todos los análisis realizados a los panes con diferentes niveles de HBC, el pan con 5% es el que se comporta más similar al pan control y se mantiene mejor durante el almacenamiento, pues su dureza no presentó diferencias significativas contra el control. Sin embargo, considerando los resultados obtenidos en el panel de agrado, se podría aplicar incluso un 15% de HBC, obteniendo un producto aceptado por los consumidores a pesar de sus diferencias fisicoquímicas contra el pan control, lo que resultaría además en una mayor valorización del subproducto con todos sus beneficios asociados. Asimismo, estas diferencias se podrían trabajar con el uso de diferentes aditivos que permitan mejorar las características del pan tanto recién elaborado como durante el almacenamiento.

6. Conclusiones

- La HBC presenta un mayor contenido de fibra y proteína y menos carbohidratos digeribles que la HT; adicionalmente, posee más almidón resistente que la HTI, lo que podría colocarla en el mercado como una oportunidad industrial como una materia prima con un menor índice glicémico.
- La CRA de la HBC es más del doble que la de la HT.
- La HBC genera un aumento en la viscosidad de la masa antes del horneado por su alta CRA, mientras que, durante este proceso, la viscosidad no aumenta de manera importante en comparación con la HT.
- El nivel de sustitución de HBC en un pan reducido en sodio no genera diferencias significativas en la dureza y masticabilidad del pan recién horneado, pero sí provoca un aumento en la dureza de este durante el almacenamiento, la cual se ve afectada también, de manera independiente, por el tiempo de almacenamiento.
- El pan elaborado con 5% de HBC estadísticamente no se comporta diferente que el control para los parámetros de textura analizados; mientras que las sustituciones de 10% y 15% sí presentan diferencias con respecto al control.
- El volumen específico del pan disminuye conforme aumenta el contenido de HBC, sin diferencias significativas al aplicar 5 o 10% de HBC.
- El aumento en el contenido de HBC en pan reducido en sodio genera una coloración menos luminosa, más rojiza y menos amarillenta, dando lugar a un tono café más oscuro conforme aumenta el contenido de HBC.
- Para un 72% de los consumidores el agrado general por el pan con cualquier nivel de sustitución de HBC es mejor o igual al del pan control, por lo que se podría aplicar incluso la sustitución de 15%, con todos sus beneficios asociados.
- Para un 28% de los consumidores la sustitución máxima de HBC que se podría aplicar es del 5%, ya que sustituciones mayores presentan un valor promedio de agrado cercano o menor a 5 (ni me gusta ni me disgusta).

7. Recomendaciones

- Analizar el efecto de la adición de HBC obtenida a partir de bagazo con un mayor grado de extracción del almidón, para obtener un panorama más amplio del efecto de adición de este subproducto en la elaboración de pan reducido en sodio, considerando la amplia variabilidad en la composición de la HBC.
- Replicar el proceso de molienda con un equipo más especializado y con un tamiz integrado para aumentar el rendimiento en el tamizado, realizando posteriormente un análisis proximal para detectar las diferencias causadas en la composición de la HBC.
- Realizar el análisis sensorial con información nutricional de los panes con diferentes niveles de sustitución, para determinar el efecto del conocimiento de los beneficios asociados sobre el agrado del pan.
- Optimizar el proceso de obtención de la HBC y realizar un estudio de almacenamiento de esta, con miras de poder incluirla en el mercado de materias primas para panificación.
- Aplicar la harina de bagazo de cerveza en otros productos a base de cereales, como pastas, snacks extruidos, barritas o galletas, para ampliar el conocimiento sobre los efectos de la adición de este subproducto en distintas matrices con características menos complejas que el pan.

8. Referencias bibliográficas

8.1 Bibliografía citada

- Aboltins, A; Palabinskis, J. 2015. Research in brewer's spent grain drying process. *Engineering for Rural Development* 20(1):230-235.
- Agulló, V. 2015. Efecto de la maceración escalonada y de la temperatura de fermentación en las propiedades funcionales de la cerveza. Grado en Biotecnología. Elche, España, Universidad Miguel Hernández. 34 p.
- Alpizar, J. 2018. Prefactibilidad técnica y financiera de una micro cervecería de cerveza artesanal. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 194 p.
- Alsaffar, A. 2011. Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products – a review. *International Journal of Food Science and Technology* 46(3):455-462.
- Arana, A. 2014. Procesamiento de granos para la elaboración de pan multigrano y estimación del índice glucémico in vitro. Tesis MSc. Sonora, México, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. 109 p.
- Arcila, J; Rose, D. 2015. Repeated cooking and freezing of whole wheat flour increases resistant starch with beneficial impacts on in vitro fecal fermentation properties. *Journal of Functional Foods* 12:230-236.
- Arendt, E; Zannini, E. 2013. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Cambridge, Inglaterra, Woodhead Publishing Limited.
- Bamforth, C. 2009. *Beer: A Quality Perspective*. Burlington, Estados Unidos, Elsevier.
- Benavides, V. 2017. Determinación del umbral de diferencia del sabor salado en pan blanco de molde y su efecto sobre la calidad durante el almacenamiento. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. p.3.
- Blanco, A; Montero, M; Fernández, M. 2006. *Tabla de composición de alimentos de Costa Rica: macronutrientes y fibra dietética*. San José, Costa Rica, INCIENSA.
- Boatella, J; Codony, R; López, P. 2004. *Química y Bioquímica de los alimentos II*. Barcelona, España, Universitat Barcelona.
- Briggs, D; Boulton, C; Brookes, P; Stevens, R. 2004. *Brewing: Science and Practice*. Cambridge, Inglaterra, Woodhead Publishing Limited.

- Carbajal, A. 2013. Manual de Nutrición y Dietética. España, Universidad Complutense de Madrid.
- Cauvain, S; Young, L. 2007. Technology of Bread Making. Nueva York, Springer.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2018. The Role of Sodium in Your Food (en línea). Consultado 20 may. 2020. Disponible en: https://www.cdc.gov/salt/role_of_sodium.htm
- Céspedes, C; Flores, N; Guevara, D; Úbeda, L. 2017. Análisis de los hábitos alimentarios de un grupo de personas costarricenses de 15 a 65 años residente en el área urbana durante durante el 2014 y 2015. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 186 p.
- CITA. 2016a. Humedad. P-SA-MQ-002. Emisión No. 7. San José, Costa Rica.
- CITA. 2016b. Nitrógeno total por método Kjeldahl utilizando equipo Foss Tecator. P-SA-MQ-003. Emisión No. 7. San José, Costa Rica.
- CITA. 2017a. Cenizas totales. P-SA-MQ-004. Emisión No. 8. San José, Costa Rica.
- CITA. 2017b. Grasa cruda por extracto etéreo. P-SA-MQ-005. Emisión No. 8. San José, Costa Rica.
- COMIECO. 2007. RTCA 67.01.15:07. Harinas, Harina de Trigo Fortificada Especificaciones. Centroamérica.
- COMIECO. 2012. RTCA 67.04.54:10. Alimentos y Bebidas Procesadas. Aditivos Alimentarios. Centroamérica
- Contreras, E; Jaimez, J; Hernández, T; Añorve, J; Beltrán, R. 2008. Composición química de cebadas cultivadas bajo diferentes condiciones de labranza en tres localidades del estado de Hidalgo, México. Bioagro 20(3):201-208.
- Crosa, M; Curia, A; Curutchet, A; Cadenazzi, M; Dotta, G; Ferreyra, V; Maidana, F; Souto, L; Escudero, J. 2013. Estudio comparativo de la estabilidad lipídica de harinas de soja, sorgo, avena, salvado y germen de trigo con y sin extrusión. Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay 8:30-18.
- Czaja, T; Sobota, A; Szostak, R. 2020. Quantification of Ash and Moisture in Wheat Flour by Raman Spectroscopy. Foods Journal 9(3):280-286.
- Da Silva, V; Correa, A; Martín, J. 2015. Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para producción de biocombustibles y bioproductos. Tesis PhD, Palencia, España, Universidad de Valladolid. 219 p.

- De La Fuente, S. 2011. Análisis de conglomerados. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Autónoma de Madrid.
- De La Vega, G. 2009. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología* 13(38):27-32.
- Delgado, W. 2004. ¿Por qué se enrancian las grasas y aceites? *Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite* 25(2):35-43.
- Díaz, J.D. 2016. Desarrollo de una masa para pizza enriquecida con fibra proveniente del salvado de arroz generado como subproducto durante el procesamiento del grano de arroz entero. Tesis Bach. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. p.34.
- Domínguez, F; Igartuburu, J; López, M (inventores); Universidad de Cádiz. 2013. Proceso para el aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria para la obtención de precursores de biocombustibles, alimentos funcionales y cosméticos. Cádiz, España, Oficina Española de Patentes y Marcas. Pat. P201100894, 8 feb.
- Dos Santos, T; Moretzsohn, P; Camporese, E. 2014. Solid wastes in brewing process: a review. *Journal of Brewing and Distilling* 5(1):1-9.
- Englyst, K; Hudson, G; Englyst, H. 2000. *Starch analysis in food*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Escudero, E; González, P. 2006. La Fibra Dietética. *Nutrición Hospitalaria* 21(2):61-72.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1997. Carbohydrates in human nutrition. Dietary Fiber and Resistant Starch Analysis. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. No 66. Roma.
- FAO/WHO. 1998. Expert consultation carbohydrates in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper 66. Consultado 16 jun. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/W8079E/w8079e0a.htm>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. Food energy - methods of analysis and conversion factors. *Methods of food analysis*. Report of a Technical Workshop. No 77. Roma.

- Fărcaș, A; Socaci, S; Tofană, M; Mureșan, C; Mudura, E; Salanță, L; Scrob, S. 2014. Nutritional properties and volatile profile of brewer's spent grain supplemented bread. *Romanian Biotechnological Letters* 19(5):9705-9714.
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2016. Tablas de ingredientes para piensos. Granos de cereales. Cebada 2C nacional 11,3% PB (en línea). Consultado 01 abr. 2020. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/node/495>
- Feili, R; Zzaman, W; Wan Abdullah, W; Yang, A. (2013). Physical and Sensory Analysis of High Fiber Bread Incorporated with Jackfruit Rind Flour. *Food Science and Technology* 1(2): 30-36.
- Galanakis, C. 2018. Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products. Cambridge, Inglaterra. Woodhead Publishing Limited.
- Gallego, M. 2004. Manual de buenas prácticas de fabricación en una industria elaboradora de pan, pan especial y productos de pastelería biológicos. España, Universidad de Salamanca.
- Goldstein, A; Ashrafi, I; Seetharaman, K. 2010. Effects of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour. *International Journal of Food Science & Technology* 45(8):1641-1646.
- Gomaa, A. 2018. Application of Enzymes in Brewing. *Journal of Nutrition and Food Science Forecast* 1(1):1-5.
- Gómez, G; Quesada, D. 2018. Consumo de panes en la población urbana costarricense. (en línea). Consultado 17 mar. 2019. Disponible en: <http://ilsimesoamerica.org/wp-content/uploads/sites/14/2018/05/Consumo-de-pan-en-Costa-Rica.pdf>
- Güemes, N; Totosaus, A; Hernández, F; Soto, S; Aquino, E. 2009. Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo "concha" fortificados con proteínas de suero de leche. *Food Science and Technology* 29(1):70-75.
- Hanai, H; Kanauchi, O; Mitsuyama, K; Andoh, A; Takeuchi, K; Takayuki, I; Araki, Y; Fujiyama, Y; Toyonaga, A; Sata, M; Kojima, A; Fukuda, M; Bamba, T. 2004. Germinated barley foodstuff prolongs remission in patients with ulcerative colitis. *International Journal of Molecular Medicine* 13(5):643-647.

- Harvard T.H. Chan. 2019a. The Nutrition Source. Salt and Sodium (en línea). Massachusetts, Estados Unidos. Consultado 20 may. 2020. Disponible en: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/salt-and-sodium/>
- Harvard T.H. Chan. 2019b. The Nutrition Source. Take Action: How to Reduce Your Sodium Intake (en línea). Massachusetts, Estados Unidos. Consultado 20 may. 2020. Disponible en: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/salt-and-sodium/take-action-on-salt/>
- Harvard T.H. Chan. 2019c. The Nutrition Source. Protein (en línea). Massachusetts, Estados Unidos. Consultado 20 may. 2020. Disponible en: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/what-should-you-eat/protein/>
- Harvard T.H. Chan. c2021. Whole Grains (en línea). Massachusetts, Estados Unidos. Consultado 13 mar. 2021. Disponible en: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/what-should-you-eat/whole-grains/>
- Hassona, H. 1993. High fibre bread containing brewer's spent grains and its effect on lipid metabolism in rats. *Die Nahrung* 37(6):576–582.
- Hebeda, R; Zobel, H. 1996. *Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation, and Inhibition of Staling*. Nueva York, Marcel Dekker Inc.
- Hernández, O; Franco, I. 2016. Efecto sobre las propiedades reológicas y panificables de la enzima transglutaminasa en masas con almidón de yuca (*Manihot esculenta*). *Revista de I+D Tecnológico* 12(2): 56-67.
- Hleap, J; Velasco, V. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 8(2):46-56.
- Huizen, J. 2017. Soluble and insoluble fiber: What is the difference? (en línea). Brighton, United Kingdom Consultado 08 jun. 2020. Disponible en: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/319176#how-do-i-make-sure-i-am-getting-enough-fiber>
- HunterLab. 2018. Especificaciones de uso de espectrofotómetro ColorFlex EZ. Estados Unidos. Hunter Associates Laboratory, Inc.
- INCAP & OPS. 2012. *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. 2ª ed. Guatemala.

- INCIENSA. 2016. Cantidad de sodio en panes y bocadillos aumentó casi en un 100% en los últimos años. (en línea). Costa Rica. Consultado 08 jun. 2020. Disponible en: https://www.inciensa.sa.cr/servicios/centro_informacion/boletines/Prensa/20160629_cantidad_sodio_panes.pdf
- Innova Market Insights. 2021. Cutting sugar and boosting protein in 'better-for-you' sweet treats (en línea). Países Bajos. Consultado 25 abr. 2021. Disponible en: <https://www.innovamarketinsights.com/cutting-sugar-and-boosting-protein-in-better-for-you-sweet-treats/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2014). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los hogares 2013. Principales resultados (en línea). Costa Rica. Consultado 08 ago. 2020. Disponible en: <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reenigh2013.pdf>
- International Food Information Council Foundation. 2010. IFIC Review: Sodium in food and health. Food Insight. (en línea). País. Consultado 08 may. 2020. Disponible en: <https://foodinsight.org/ific-review-sodium-in-food-and-health/>
- Isken, F; Klaus, S; Osterhoff, M; Pfeiffer, A; Weickert, M. 2010. Effects of long-term soluble vs. insoluble dietary fiber intake on high-fat diet-induced obesity in C57BL/6J mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 21(4):278-284.
- Jiang, X; Tian, J; Hao, Z; Zhang, W. 2008. Protein Content and Amino Acid Composition in Grains of Wheat-Related Species. *Agricultural Sciences in China* 7(3):272-279.
- Karunaratne, D; Pamunuwa, G. 2017. *Food Additives*. Croacia, IntechOpen.
- Ktenioudaki, A; Chaurin, V; Reis, S; Gallagher, E. 2012. Brewer's spent grain as a functional ingredient for breadsticks. *International Journal of Food Science and Technology* 47(1):1765-1771.
- Lauterbach, S; Albrecht, J. 1994. *Functions of Baking Ingredients* (en línea). Consultado 08 ago. 2020. Disponible en: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1412&context=extensionhist>
- Latham, M. 2002. *Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos*. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Leandro, C. 2019. Efecto del uso de un mejorador panario, gomas y potenciadores de sabor sobre el sabor salado de un pan blanco de molde reducido en sodio. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 58 p.
- Lezama, A. 2015. Desarrollo de un pan de molde a partir de los subproductos del procesamiento del grano de arroz entero y determinación de sus propiedades funcionales. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 126 p.
- Licciardello, F; Cipri; Muratore, G. 2014. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing. *Food Packaging and Shelf Life* 1(1):19-24.
- López, P; Prieto, F; Gaytán, M; Román, A. 2007. Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la región centro de México. *Revista Chilena de Nutrición* 34(1):71-77.
- Luna, M; Bárcenas, M. 2011. Envejecimiento del pan: causas y soluciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 5(2):40-53.
- Lynch, M., Steffen, J; Arendt, E. 2016. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing* 122(1):553-568.
- Matos, A; Chambilla, E. 2010. Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación, Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1(1):4-17.
- Matos, M; Rossel, C. 2012. Relationship between instrumental parameter and sensory characteristics in gluten-free bread. *European Food Research and Technology* 235:107-117.
- Makeri, M; Nkama, I; Badau, M. 2013 Physico-chemical, malting and biochemical properties of some improved Nigerian barley cultivars and their malts. *International Food Research Journal* 20(4): 1563-1568.
- Martínez, E; Jiménez, V. 2013. ¿Qué son los cereales? Composición química de los cereales (en línea). Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado 01 abr. 2020. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=20

- Mayo Clinic. 2021. Dietary fiber: Essential for a healthy diet (en línea). Estados Unidos. Consultado 25 abr. 2021. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/fiber/art-20043983>
- Mesas, J; Alegre, M. 2002. El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 3(5):307-313.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. s.f. Pan de molde (en línea). España. Consultado 11 jun. 2020. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/pan%20molde_tcm30-102662.pdf
- Ministerio de Salud. 2011. Plan Nacional para la Reducción del Consumo de Sal/Sodio en la Población 2011-2021. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Salud. 2018. Costa Rica consume más del doble de la sal recomendada. (en línea). Consultado 15 nov. 2019. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/noticias/noticias-2018/1286-costa-rica-consume-mas-del-doble-sal-2>
- Mintel. 2019. Global Food & Drink Trends 2018 (en línea). Londres, Reino Unido. Consultado 10 may. 2020. Disponible en: https://www.wabel.com/sites/default/files/articles/Mintel_2019_Global_Food__Drink_Trends_for%20presenting_by_RMH_extract_for_WABEL_1.pdf
- Mintel. 2020. Global Food and Drink Trends 2030. (en línea). Londres, Reino Unido. Consultado 10 may. 2020. Disponible en: <https://www.mintel.com/global-food-and-drink-trends>
- Monge, A. 2016. Cambios en las condiciones de proceso de una cerveza artesanal de la empresa Treintaycinco Fábrica de Cervezas para obtener un producto con una mejor coloración y la densidad relativa final requerida. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 60 p.
- Montero, M; Blanco, A; Chan, V. 2015. Sodio en panes y snacks de mayor consumo en Costa Rica. Contenido basal y verificación del etiquetado nutricional. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*: 65(1):36-43.
- Mundo Alimentario. 2012. Función de las mantecas y aceites de soya en la panificación (en línea). Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Consultado 10 jun. 2020. Disponible en:

<http://alimentos.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/57/2016/03/Materia-grasa-en-panificados.pdf>

Mussatto, S; Dragone, G; Roberto, I. 2006. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science* 43(1):1–14.

Nahar, N; Madzuki, I; Izzah, N; Karim, S; Ghazali, H; Karim, R. 2019. Bakery Science of Bread and the Effect of Salt Reduction on Quality: A Review. *Borneo Journal of Sciences and Technology* 1(1):9-14.

Naranjo, W. 2018. Aprovechamiento de un subproducto de la molienda seca del maíz en productos horneados libres de gluten. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 125 p.

Nielsen. 2018. Protein: consumers want it, but don't understand it. (en línea). Estados Unidos. Consultado 20 may. 2020. Disponible en: <https://www.nielsen.com/us/en/insights/article/2018/protein-consumers-want-it-but-dont-understand-it/>

Niemi, P; Tamminen, T; Smeds, A; Viljanen, K; Ohra-aho, T; Holopainen-Mantila, U; Faulds, C; Poutanen, K; Buchert, J. 2012. Characterization of Lipids and Lignans in Brewer's Spent Grain and Its Enzymatically Extracted Fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:9910-9917.

Okuda, R; Tabara, A; Okusu, H; Seguchi, M. 2016. Measurement of Water Absorption in Wheat Flour by Mixograph Test. *Journal of Food Science and Technology Research* 22(6):841-846.

Özvural, E; Vural, H; Gökbulut, İ; Özboy-Özbaş, Ö. 2009. Utilization of brewer's spent grain in the production of frankfurters. *International Journal of Food Science and Technology*. 44: 1093–1099.

Palmer, J. 2017. *How to brew: Everything you need to know to brew great beer every time*. Colorado, Estados Unidos, Brewers Publications.

Paz, J. 2014. *Elaboración y control de calidad de pan enriquecido con fibra de cutícula de tomate (Solanum lycopersicum) y espinaca (Spinacia oleracea)*. Tesis Bach. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. p.13.

Pendick, D. 2019. How much protein do you need every day? (en línea). Estados Unidos. Consultado 25 abr. 2021. Disponible en: <https://www.health.harvard.edu/blog/how-much-protein-do-you-need-every-day-201506188096>

- Pérez, L. 2010. Evaluación de las fracciones granulométricas de la harina de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para la elaboración de una pasta alimenticia. Tesis Esp. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. p.29.
- Pourafshar, S; Rosentrater, K; Krishnan, P. 2014. Using alternative flours as partial replacement of barbari bread formulation (traditional Iranian bread). *Journal of Food Science and Technology* 52(9):5691-5699.
- Preedy, V; Watson, R; Patel, V. 2011. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*. Reino Unido, Academic Press.
- Priest, F; Stewart, G. 2006. *Handbook of Brewing*. Florida, Estados Unidos, CRC Press.
- Purhagen, J; Sjö, M; Eliasson, A. 2011. Fibre-rich additives—the effect on staling and their function in free-standing and pan-baked bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(6):1201-1213.
- Pycia, K; Ivanišová, E. 2020. Physicochemical and Antioxidant Properties of Wheat Bread Enriched with Hazelnuts and Walnuts. *Foods* 9(8): 1081-1093.
- Ramayo, P. 2018. Aprovechamiento de subproductos derivados de la elaboración de cerveza artesanal. Tesis Mtr. Badajoz, España, Universidad de Extremadura. p.13.
- Ramírez, J. 2012. *Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor*. Cali, Colombia, ReCiTeIA.
- Reis, S; Abu-Ghannam, N. 2014. Antioxidant capacity, arabinoxylans content and in vitro glycaemic index of cereal-based snacks incorporated with brewer's spent grain. *LWT – Food Science and Technology* 55(1):269-277.
- Shahnawaz, M; Lohano, D; Sheikh, S. 2012. A study on the impact of chemical preservatives on sensorial excellence of bread at various temperatures. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy* 3(6):833-836.
- Shan, Z; Rehm, C; Rogers, G; Ruan, M; Wang, D; Hu, F; Mozaffarian, D; Zang, F; Bhupathiraju, S. 2019. Trends in Dietary Carbohydrate, Protein, and Fat Intake and Diet Quality Among US Adults, 1999-2016. *Journal of American Medical Association* 322(12):1178–1187.
- Silveira, M; Monereo, S; Molina, B. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública* 77(3):317-332.

- Singh, N; Jha, A; Chaudhary, A; Upadhyay, A. 2014. Enhancement of the functionality of bread by incorporation of Shatavari (*Asparagus racemosus*). *Journal of Food Science and Technology* 51(9): 2038–2045.
- Skendi, A; Harasym, J; Galanakis, C. 2108. Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products. In Galanakis, C. *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products*. Cambridge, Inglaterra. Woodhead Publishing Limited. p. 189-225.
- Sloan, E. 2020. The Top 10 Functional Food Trends. *Food Technology Magazine* 74(3).
- Spence, C; Levitan, C; Shankar, M; Zampini, M. 2010. Does food color influence taste and flavor perception in humans? *Chemosensory Perception* 3:68-84.
- Smith, B; Ramsay, A; Roe, A; Ferrante, M; Brooks, S. 2019. Reducing Visual Differences in Whole Grain Bread Prepared with Hard Red and Hard White Wheat: Application for Sensory Studies. *Journal of Food Science* 84(8):2325-2329.
- Stable Micro Systems. 2012. *Texture Profile Analysis (TPA)*. Surrey, UK.
- Stable Micro Systems. 2020. *Volume, Density and Dimensional Profile Measurement in the Food Industry* (en línea). Inglaterra. Consultado 2 may. 2021. Disponible en: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19021>
- Stojceska, V; Ainsworth, P. 2008. The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads. *Food Chemistry* 110: 865–872.
- Tebben, L; Shen, Y; Li, Y. 2018. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. *Trends in Food Science & Technology* 81(1):10-24.
- Torres, M. 2012. *Fibra dietética total por método enzimático*. P-SA-MQ-007. 4ª emisión. CITA, San José.
- U.S. Department of Agriculture. 2019. *Wheat flour, white, bread, enriched*. (en línea). Estados Unidos. Consultado 20 ene. 2021. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168896/nutrients>
- Vega, O; De Marco, R; Di Risilo, C. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa. *Revista Escuela de Tecnología de Antioquía* 12(24): 87-100.

- Villanueva, N; Petenate, A; Da Silva, M. 2005. Performance of the hybrid hedonic scale as compared to the traditional hedonic, self-adjusting and ranking scales. *Food Quality and Preference* 16(8):691-703.
- Waters, D; Jacob, F; Titze, J; Arendt, E; Zannini, E. 2012. Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. *European Food Research and Technology* 235(1):767-778.
- Weickert, M; Pfeiffer, A. 2008. Metabolic Effects of Dietary Fiber Consumption and Prevention of Diabetes. *The Journal of Nutrition* 138(3):439-442.
- Whitney, K; Simsek, S. 2013. Analysis of hard spring wheat flours using the micro-viscoamylograph. AACC International 2013 Annual Meeting, Estados Unidos. p.197.
- Zhang, G; Li, C. 2009. Genetics and Improvement of Barley Malt Quality. Zhejiang, China, Springer.

8.2 Bibliografía consultada

- Mintel. 2018. Global Food & Drink Trends 2018. (en línea). Consultado 17 ago. 2019. Disponible en: https://gastronomiaycia.republica.com/wp-content/uploads/2017/10/informe_mintel_tendencias_2018.pdf
- Quirk, A; Lipkowski, J; Vandenende, C; Cockburn, D; Clarke, A. J; Dutcher, J. R; Roscoe, S. G. 2010. Direct Visualization of the Enzymatic Digestion of a Single Fiber of Native Cellulose in an Aqueous Environment by Atomic Force Microscopy. *Langmuir* 26(7):5007-5013.
- Rasby, R. c2019. Institute of Agricultural and Natural Resources: Understanding Feed Analysis (en línea, sitio web). Consultado 11 mar. 2019. Disponible en: <https://beef.unl.edu/learning/feedanalysis.shtml>

9. Apéndices

9.1 Amilogramas de la HT y HBC

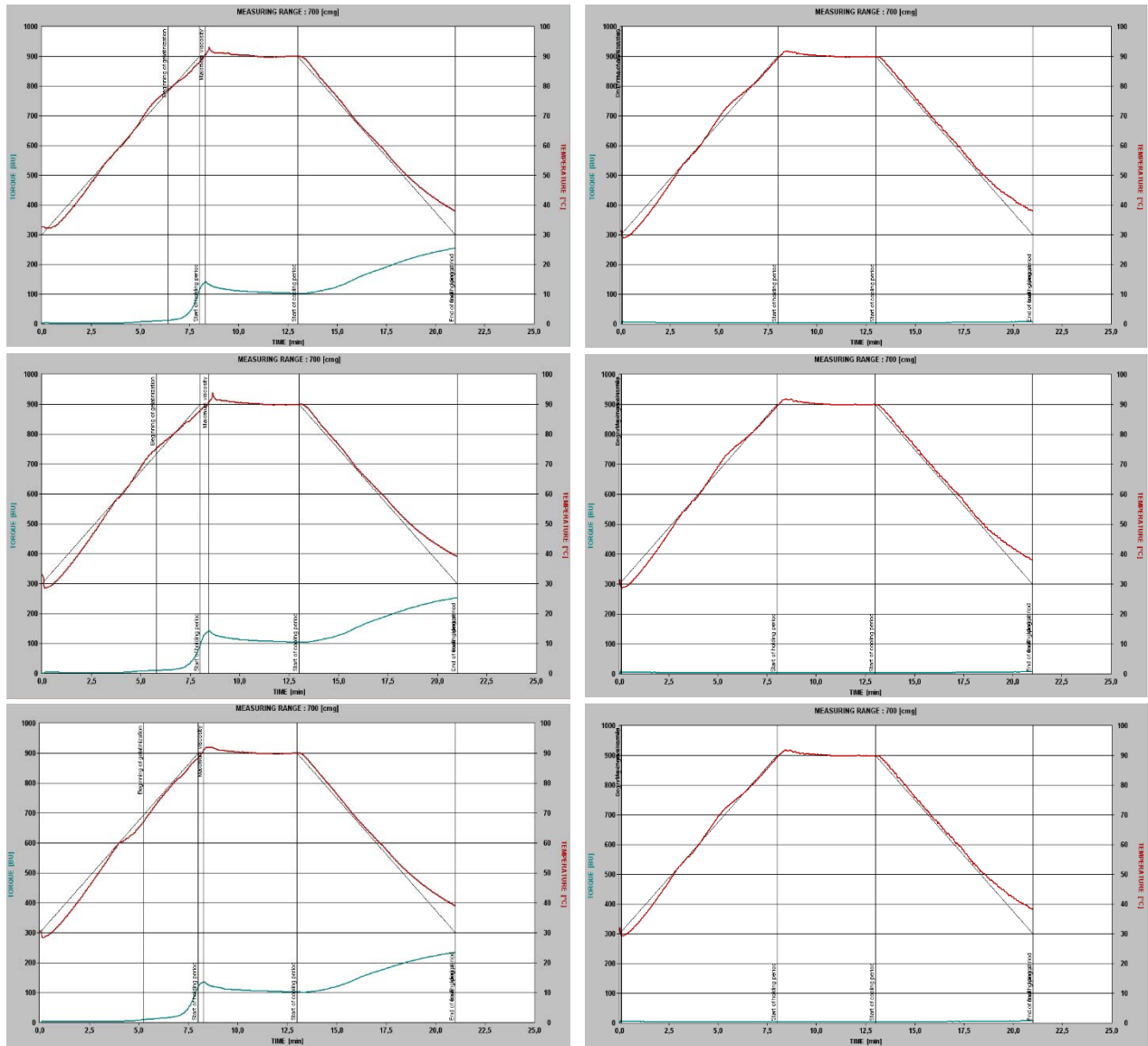


Figura 12. Amilogramas realizados a la HT (izquierda) y HBC (derecha) por triplicado utilizando un microviscoamilografo de Brabender