



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Investigación documental sobre el efecto de harinas de garbanzo y adición de gomas en pan, *muffin* y galletas

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA

MONTZERRAT HERNÁNDEZ ALVARADO

ASESORA

Dra. Laura Patricia Martínez Padilla

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis y Examen Profesional**

Investigación documental sobre el efecto de harinas de garbanzo y adición de gomas en pan, muffin y galletas.

Que presenta la pasante: **Montserrat Hernández Alvarado**
Con número de cuenta: **415095460** para obtener el título de: **ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Marzo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Laura Patricia Martínez Padilla	
VOCAL	I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal	
SECRETARIO	I.A. Francisco Javier López Martínez	
1er. SUPLENTE	Dr. Enrique Martínez Manrique	
2do. SUPLENTE	I.A. Janeli Solís Garfias	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá **Porfiria Alvarado** que siempre ha sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quien ha estado conmigo en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, quien ha aguantado mis cambios de humor, quien a pesar de todo estaba ahí para limpiarme las lágrimas cuando ya no podía. A mi papá **Javier Hernández** porque sin importar el cansancio y los desvelos, estuviste presente cuando te necesitaba e hiciste hasta lo imposible para ayudarme. A ambos les agradezco el sacrificio, la confianza, el amor, el apoyo y el esfuerzo que me han brindado para alcanzar mis metas y para nunca rendirme cuando tengo un sueño. Gracias por confiar en mí y estar a mi lado.

A mi abuelita **María Molina†** por ser como una segunda madre para mí, que me cuida y apoyo en todo momento. Gracias por creer en mí y enseñarme tantas cosas, pero sobre todo por brindarme tanto amor y cariño. Donde quiera que estés abue sé que estás orgullosa de mí, de lo que he logrado y que aún me sigues cuidando. Te llevo siempre en mi mente y en mi corazón.

A mis madrinas **Guadalupe Alvarado** y **Elvira Barragán** porque a pesar de la distancia, cuando yo tenía alguna dificultad estaban presentes para ayudarme, protegerme y aconsejarme.

A mi mejor amiga-hermana **Diana Solís**, quien desde aquella mañana en clase de Termodinámica donde me hizo *spoiler* de una serie se convirtió en una persona que siempre me ha apoyado, ayudado, aconsejado, escuchado, levantado cuando las cosas se ponían difíciles, pero sobre todo que a pesar de la situación y de las decisiones que tomé nunca me ha juzgado. Gracias por brindarme tu amistad, por todas aquellas aventuras que vivimos tanto felices como tristes y por ser esa persona maravillosa que hizo que mis días en la universidad fueran más divertidos y tranquilos.

A mi amiga **Iliana Cervantes**, con quien a pesar de ser personas con personalidades diferentes pudimos formar una amistad y trabajar en equipo adecuadamente. Gracias por las risas, por las enseñanzas, por la confianza y por las anécdotas. A mis compañeras y también amigas **Alma Jiménez** y **Karina Cruz**, gracias por las enseñanzas de vida, por las alegrías y por brindarme su amistad.

A mi mejor amiga **Verónica Olvera** porque desde la preparatoria nunca me ha abandonado cuando más la necesito y siempre me ha dado ánimos para seguir esforzándome. Gracias por ser una gran persona conmigo, por siempre comprenderme, por contagiarme de esas buenas vibras que tienes, por escucharme, por enseñarme cosas nuevas, por todas esas aventuras por las que pasamos, por esas pláticas tan largas pero sobre todo porque a pesar del tiempo y de las pocas veces que nos podemos ver me sigues brindando tu amistad incondicional.

A mi asesora de tesis **Dra. Laura Patricia** por su paciencia, comprensión, orientación y apoyo durante todo este tiempo. Gracias por el conocimiento compartido, por su tiempo, por ayudarme a crecer como persona y por confiar en mí para la elaboración de este proyecto.

A usted I.A. **Maritza Rocandio** le agradezco por sus palabras, su ayuda, por su dedicación, bondad y sobre todo por siempre tener la disposición para ayudarme a resolver mis dudas aun cuando no eran de su materia.

A mis **sinodales** por los comentarios, observaciones y aportaciones realizadas a este proyecto para que tenga un mejor contenido y entendimiento.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** porque por muchos años fue mi segundo hogar. Comunidad donde no solo agradezco por mi crecimiento profesional sino también personal porque dentro y fuera de esas aulas se tienen tantas experiencias que te van forjando como persona y profesionista. Gracias a todos los profesores que también forman parte de esta comunidad y que semestre tras semestre nos van compartiendo sus conocimientos.

Con cariño y aprecio, Montserrat Hdez.

Un agradecimiento a la DGAPA-UNAM, ya que este estudio fue financiado por el proyecto PAPIIT IN223721 “Aprovechamiento de proteínas del garbanzo tratadas con ultrasonido en mezcla con fructanos para el desarrollo de sistemas dispersos estables base de alimentos funcionales”.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE CUADROS

RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	vi
1.ANTECEDENTES	
1.1 Garbanzo	1
1.2 Harina de garbanzo	4
1.3 Panificación	11
1.3.1 Formación de espuma en el proceso de panificación	13
1.3.2 Propiedades reológicas de las masas	17
1.3.3 Propiedades texturales y sensoriales del pan y galletas	18
2.METODOLOGÍA	
2.1 Metodología de la investigación documental	21
2.1.1 Objetivo General	21
2.1.2 Selección de Material	21
2.1.3 Revisión y organización del material	22
2.1.4 Análisis de datos	23
2.2 Metodología empleada en los artículos seleccionados	24
2.2.1 Materiales	24
2.2.2 Preparación de la muestra	26
2.2.3 Métodos	33
2.3 Análisis estadístico	38
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	
3.1 Pan	40
3.1.1 Propiedades mecánicas de masas de mezclas de harina de trigo con harina de garbanzo	40
3.1.2 Color de corteza y de miga de panes con mezcla de harina de trigo y harina de garbanzo	42

3.1.3 Propiedades viscoelásticas de las masas con harina de garbanzo y arroz	44
3.1.4 Pruebas mecánicas a las masas con arroz, trigo y garbanzo	46
3.1.5 Perfil de textura de los panes con arroz, trigo y garbanzo	48
3.1.6 Porosidad de la miga del pan con arroz, trigo y garbanzo	49
3.2 <i>Muffin</i>	51
3.2.1 Propiedades viscoelásticas de masas con harina de garbanzo y trigo	51
3.2.2 Viscosidad de las masas con harina de garbanzo y trigo	56
3.2.3 Color de la masa con harina de garbanzo y trigo	57
3.3 Galleta	58
3.3.1 Propiedades viscoelásticas de masas con harina de garbanzo, arroz y gomas	58
3.3.2 Color de la galleta con harina de garbanzo, arroz y gomas	59
3.3.3 Compresión con tres puntos de apoyo para la galleta con harina de garbanzo, arroz y gomas y estudio de vida útil	61
3.3.4 Evaluación sensorial para la galleta con harina de garbanzo, arroz y gomas	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Diagrama del proceso para obtener harina de leguminosas	5
2.1	Diagrama de proceso para la elaboración de la masa para pan (Mohammed et al., 2012)	27
2.2	Diagrama de proceso para la elaboración del pan (Mohammed et al., 2012)	27
2.3	Diagrama de proceso para la elaboración de la masa para pan (Kahraman et al., 2018)	28
2.4	Diagrama de proceso de elaboración del pan (Burešová et al., 2017)	29
2.5	Diagrama de proceso de elaboración del <i>muffin</i> (Álvarez et al., 2017)	30
2.6	Diagrama de proceso de elaboración de galleta (Hamdani et al., 2020)	32
2.7	Curva generalizada de perfil de textura (Steffe, 1996)	35
3.1	Características de la superficie de la masa en diferentes proporciones trigo: garbanzo. (1) 100:0; (2) 90:10; (3) 80:20; (4) 70:30 (Mohammed et al., 2012)	42
3.2	Color de la miga y corteza del pan en diferentes proporciones trigo: garbanzo. (1) 100:0; (2) 90:10; (3) 80:20; (4) 70:30 (Mohammed et al., 2012)	44
3.3	Propiedades viscoelásticas de la masa: barrido de frecuencia. Harina de arroz (■), harina de garbanzo (◆), harina de garbanzo tostado (▲), harina de garbanzo descascarado (●). Módulo de almacenamiento (G' , símbolos llenos), módulo de pérdida (G'' , símbolos vacíos) (Kahraman et al., 2018)	45
3.4	Datos de espectro mecánico del batido control, WF (A) y sin gluten a base de harina de garbanzo CF (B). Se reporta la curva promedio de nueve pruebas \pm desviación estándar (Álvarez et al., 2017)	52
3.5	Módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') y $\tan \delta$ en función del aumento de temperatura en el batido control y el remplazado parcial o completamiento por harina de garbanzo (Álvarez et al., 2017)	54
3.6	Reología de muestras de masa con y sin adición de gomas exudadas (Hamdani et al., 2020)	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.1	Composición química del garbanzo tipo Desi y Kabuli	2
1.2	Contenido de aminoácidos de la semilla de garbanzo Desi y Kabuli	3
1.3	Composición química de diferentes harinas de garbanzo	9
1.4	Características sensoriales para el pan y panqué	12
1.5	Propiedades físicas y químicas del pan	12
1.6	Propiedades sensoriales de las galletas	13
1.7	Propiedades físicas y químicas de la galleta	13
3.1	Parámetros del extensograma de harina de trigo, harina de garbanzo y sus mezclas (Mohammed et al., 2012)	41
3.2	Color de la corteza y de la miga del pan control y el pan con harina compuesta de trigo-garbanzo, \pm desviación estándar (Mohammed et al., 2012)	43
3.3	Comportamiento de la masas simples libres de gluten y compuestas bajo deformación uniaxial. Donde σ_M es el esfuerzo de elongación máximo y ε_{HM} la deformación relativa en el momento de la ruptura de la masa. Diferentes letras en la columna sugieren una diferencia significativa ($p < 0.05$) (Burešová et al., 2017)	46
3.4	Características de textura (dureza, elasticidad, cohesión, resiliencia y masticosidad) de un solo pan de arroz sin gluten y compuesto (Burešová et al., 2017)	48
3.5	Porosidad de la miga (apariencia y color de la corteza y de la miga) del pan (Burešová et al., 2017)	50
3.6	Efecto del reemplazo de la harina de trigo sobre las propiedades reológicas y los parámetros cinéticos de las pruebas oscilatorias de la masa del <i>muffin</i> (Álvarez et al., 2017)	51
3.7	Efecto de la sustitución de la harina de trigo en las propiedades reológicas (Álvarez et al., 2017)	57
3.8	Efecto del remplazo de la harina de trigo sobre las propiedades físicas del batido del <i>muffin</i> (Álvarez et al., 2017)	58
3.9	Color de las muestras de galletas (Hamdani et al., 2020)	60
3.10	Análisis de textura de las muestras de galletas a diferentes periodos de almacenamiento (Hamdani et al., 2020)	61
3.11	Evaluación sensorial de las galletas (Hamdani et al., 2020).	62

RESUMEN

En la presente investigación se revisaron principalmente cinco artículos, los cuales se dividieron de acuerdo con el tipo de producto, pan, *muffin* y galleta, con la finalidad de analizar el efecto de la adición de harina de garbanzo sobre las propiedades mecánicas y reológicas de la masa, así como, las propiedades físicas y texturales de los productos antes mencionados, para identificar las potenciales aplicaciones de la harina de garbanzo en la panificación. En cada uno de los artículos se realizó un estudio de las diferentes formas de la masa y el producto final. A la masa se le realizaron pruebas mecánicas, donde se utilizó un extensógrafo y un texturómetro, también se analizó su comportamiento viscoelástico mediante pruebas dinámicas, así como, su comportamiento al flujo utilizando un reómetro. Para pan, *muffin* y galleta se hicieron pruebas de color, perfil de textura, porosidad a la miga del pan y prueba de textura empleando tres puntos de apoyo. Los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas y dinámicas aplicadas muestran que las masas presentaron cambios con la sustitución parcial o completa por harina de garbanzo, teniendo un efecto positivo en las propiedades viscoelásticas, el módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'') aumentaron, además, G' fue mayor que G'' en todas las formulaciones lo que representa un comportamiento característico de los sólidos viscoelásticos. Al aumentar la cantidad de harina de garbanzo, provocó que las masas fueran menos manejables, menos extensibles, menos resistentes y con un menor esfuerzo de fractura. La sustitución afectó la obtención de los productos finales, debido a que los que contenían una mayor proporción de harina de garbanzo tenían colores más oscuros en particular más rojos y amarillos. Los panes que contenían la mezcla de harina de arroz con harina de garbanzo presentaron una textura y porosidad similar al pan que contiene 100% harina de trigo. En general la adición de harina de garbanzo es efectiva cuando se mezcla con otras harinas.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas se pueden utilizar con éxito en productos horneados para obtener un producto enriquecido en proteínas con un mejor equilibrio de aminoácidos. Varios investigadores han estudiado el uso potencial de las legumbres como agentes enriquecedores de proteínas de los productos horneados, principalmente en forma de harinas con alto contenido de proteínas. Entre los productos de proteína de leguminosas probados se encuentran varias preparaciones de proteína de soya, harina de garbanzo, harina de garbanzo germinada y harina de chícharo germinada (Mohammed et al., 2012).

El garbanzo tiene un alto contenido de nutrimentos entre las cuales se encuentran las proteínas, fibra dietética, algunas vitaminas, minerales, ácidos grasos y aminoácidos esenciales, deficientes en el trigo (Wood y Grusak, 2007). El proceso de elaboración de harina de leguminosas sigue una serie de pasos simples, que incluyen calentamiento, descascarado, desgrasado y molienda en seco o húmedo (Duodu y Minnaar, 2011). La harina de garbanzo tiene diferentes propiedades funcionales como buena absorción del agua, capacidad de formación de espumas entre otros, las cuales ayudan a la elaboración de productos horneados.

Los productos horneados tienen un papel muy importante en la dieta humana, principalmente el pan que constituye un alimento imprescindible en la gastronomía a escala internacional. La elaboración se realiza a partir de cereales, los cuales son ricos en carbohidratos y representan la principal fuente de energía para la mayoría de la población mundial. A escala industrial, el perfil nutricional de alimentos ricos en almidones depende de los ingredientes, formulaciones y procesamientos tecnológicos que se empleen en su elaboración. Para mejorar la calidad nutricional de los productos horneados, se ha disminuido el contenido de grasas, azúcares, sal, carbohidratos totales y de digestión rápida. Así mismo, se ha incrementado el contenido de proteínas, carbohidratos resistentes a la digestión (fibra), minerales, vitaminas y antioxidantes, e incorporando harinas de legumbres como el garbanzo y la soya (Calle, 2020).

El pan y las galletas son los productos más comunes, pero otros artículos como pasteles, dulces, etc., no dejan de ser por demás populares en México, ya que forman parte esencial de la gastronomía mexicana y comparten cultura y tradición. En México se consumen cerca de 30 kg de pan al año, muy por debajo de los 90 kg anuales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). De estos 33 kg que consumen los mexicanos anualmente, entre el 70% y 75% corresponde a pan blanco, y el restante a pan dulce, galletas y pasteles. De acuerdo con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera del INEGI, en la última década el valor de la producción de la panificación tradicional creció 9.4%. El valor de la producción aumentó 0.8% con respecto al año anterior (Reyna, 2021).

En México existen más de dos mil tipos de panes y cerca de 50 tipos de masa para prepararlos (Reyna, 2021), esta última tiene un papel importante en el proceso de elaboración de los productos horneados, debido a que las masas que son demasiado fuertes no permiten el desarrollo adecuado de las burbujas y dan como resultado la formación de panes y galletas densas, desagradables y de pequeño volumen, mientras que las masas que son demasiado débiles no pueden retener las burbujas y dan como resultado grandes agujeros en la barra o colapso del pan y galletas, por lo que las propiedades reológicas de la masa son un factor esencial para la determinación de la calidad del pan y las galletas (Belton, 2012). También, el estudio reológico de las masas en productos a base de harina permite determinar cuáles variables se deben ajustar para lograr el equilibrio deseado harina-agua-grasa que permita mejorar las características sensoriales deseadas en el producto final, es decir que “las propiedades reológicas definen las características organolépticas del producto final” (DISAN, 2021).

La reología se asocia con la textura, debido a que las propiedades de textura de todos los productos a base de cereales, legumbres y leguminosas están fuertemente influenciadas por la calidad de los ingredientes utilizados y de su interacción durante el mezclado. En el pan y galletas, las características de textura

clave provienen del desarrollo de una red en la masa. La formación de una estructura adecuada es esencial para la textura del producto final (Cauvian, 2004).

Por lo anterior, en el presente proyecto se realizó una investigación documental, la cual se basa principalmente en cinco artículos, que se dividieron de acuerdo con el producto final (pan, *muffin*, galleta). En cada uno de los artículos se estudian las propiedades mecánicas y reológicas de las masas, mientras que a los productos finales se les realizaron pruebas de perfil de textura, color, porosidad a la miga del pan y prueba de textura empleando tres puntos de apoyo. La comprensión de las propiedades reológicas y texturales de estos alimentos servirá para beneficio de la comunidad académica, así como, de cualquier institución que se interese en dicha información.

1. ANTECEDENTES

1.1 Garbanzo

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es originario de la región sur del Cáucaso y del norte de Persia, principalmente, el territorio que ocupa actualmente Irán. De allí se extendió a Europa, especialmente por la región mediterránea, y África, fundamentalmente Etiopía, que fue su centro de diversificación secundaria. Es una de las principales fuentes de alimentación humana y animal y se sitúa en la lista de leguminosas más cultivadas del mundo, después de la soya (*Glycine max*), el haba (*Vicia faba*), los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) y los chícharos o guisantes (*Pisum sativum*) (Echeverría et al., 2019).

Existen cerca de 44 pequeñas especies de garbanzo las cuales varían de acuerdo a su ubicación geográfica sin embargo la principal, de mayor producción y consumo es el género *Cicer* L. (*Leguminosae*, *Ciserae*) que es miembro de la tribu monogenética *Cicereae* Alef., subfamilia *Papilionoideae*, familia *Leguminosae* (Yadav et al., 2007).

Existen dos tipos dentro de *Cicer arietinum* que son el tipo Kabuli y el tipo Desi, que morfológicamente son distintos; El tipo Kabuli, caracterizado por tener granos gruesos (más de 26 g/100 granos) más o menos redondeado y de color crema pálido. Tipo Desi, caracterizado por tener granos pequeños, de formas angulares y con coloración variada. Existe un tercer tipo, el denominado Gulabi, el cual caracteriza a plantas con granos de tamaño medio-pequeño, liso y redondeado, y de color claro (Nadal et al., 2004).

El garbanzo Desi, se cultiva sobre todo en la India, Etiopía, México e Irán; este es tal vez la variedad más antigua que se asemeja a las semillas halladas por los arqueólogos como antecesoras de los garbanzos domesticados o *Cicer reticulatum*, que crecen al sureste de Turquía, donde probablemente se originaron. El garbanzo Kabuli, se cultiva principalmente en el Mediterráneo, toda América o Asia Sudoriental. Su nombre procede del Kabul (Afganistán) desde donde se introdujo a la India y viajó hacia África (FAO, 2016).

Valor nutricional

La calidad nutricional de las semillas puede variar según el medio ambiente, el clima, nutrición del suelo, biología del suelo y prácticas agronómicas. La concentración de proteína de la semilla de garbanzo varía de 16.7% a 30.6% y 12.6% al 29% para los tipos Desi y Kabuli, respectivamente, y comúnmente es de 2 a 3 veces más alto que los cereales. Los carbohidratos son el principal componente nutricional del garbanzo, con un 51-65% en el tipo Desi y 54-71% en el tipo Kabuli (Wood y Grusak, 2007). A continuación se presenta en el Cuadro 1.1 los componentes químicos del garbanzo tipo Desi y Kabuli.

Cuadro 1.1 Composición química del garbanzo tipo Desi y Kabuli adaptado de Wood y Grusak (2007).

Parámetro	Desi		Kabuli	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Proteína	16.7%	30.57%	12.6%	29%
Cenizas	2.04%	4.2%	2%	3.9%
Lípidos	2.9%	7.42%	3.4%	8.83%
Fibra	3.7%	13%	1.17%	4.95%
Carbohidratos	50.64%	64.9%	1.17%	4.95%

Los carbohidratos son el principal componente nutricional del garbanzo. Las principales clases de carbohidratos son los monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los monosacáridos más comunes en las semillas de garbanzo son glucosa (0.7%), fructosa (0.25%), ribosa (0.1%) y galactosa (0.05%). Los disacáridos más abundantes que se encuentran libremente en el

garbanzo son la sacarosa (1-2%) y maltosa (0.6%). En cuanto a oligosacáridos contiene de 0.4-2.8% y 1.2-3.9% en Desi y Kabuli, respectivamente. El polisacárido principal en el garbanzo es el almidón (30-57%), es la fuente de energía más importante derivada de esta semilla.

En cuanto al contenido de aminoácidos, el garbanzo se encuentra bien equilibrado, aparte de los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), tiene un alto contenido de lisina, así como de histidina, isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina en comparación con otras leguminosas como el frijol, haba y lenteja que contienen estos aminoácidos esenciales en menor cantidad. A continuación se muestra en el Cuadro 1.2 el contenido de aminoácidos del garbanzo (Wood y Grusak, 2007).

Cuadro 1.2 Contenido de aminoácidos de la semilla de garbanzo Desi y Kabuli adaptada de Wood y Grusak (2007).

Aminoácidos	Unidad	Desi		Kabuli	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Alanina	g/16g N	2.64	6.06	2.81	5.66
Arginina	g/16g N	5.1	12.79	5.14	13.2
Ac. Aspártico	g/16g N	8.36	14.19	8.49	14.26
Cisteína	g/16g N	0.5	1.93	0.53	1.77
Ac. Glutámico	g/16g N	12.94	21.09	13.14	18.9
Glicina	g/16g N	2.44	5.1	2.49	4.43
Histidina	g/16g N	1.48	5.71	1.4	4.2
Isoleucina	g/16g N	2.15	5.82	3.2	6.03
Leucina	g/16g N	3.12	9.95	5.73	9.09
Lisina	g/16g N	4.86	9.62	4.85	8.71
Metionina	g/16g N	0.64	2.29	0.61	3.63
Fenilalanina	g/16g N	2.76	6.83	4.06	8.41
Prolina	g/16g N	2.82	4.98	2.88	5.28
Serina	g/16g N	3.26	6.08	3.13	5.89
Treonina	g/16g N	1.18	5.58	2.59	4.93
Triptófano	g/16g N	0.39	1.30	0.31	2.36
Tirosina	g/16g N	0.71	3.81	1.1	4.21
Valina	g/16g N	2.03	5.55	3.11	6.22

Almacenamiento

Existen factores que afectan el almacenamiento de semillas de garbanzo los cuales son la temperatura, el contenido de humedad y la infestación por insectos, roedores o mohos. El contenido de humedad segura para el almacenamiento de semillas oscila entre el 8% y el 11%, sin embargo, el aumento de la temperatura de almacenamiento o del contenido de humedad tiene un efecto negativo sobre la calidad de las semillas de leguminosas. Las condiciones de almacenamiento adversas reducen la cocción, la molienda y la calidad nutricional de los granos de garbanzo. El almacenamiento de semillas a mayor temperatura y humedad relativa hace que disminuya la calidad de la semilla (Ahmand-Sofi et al., 2020).

1.2 Harina de garbanzo

Las semillas de garbanzo rara vez se consumen crudas. Tradicionalmente se procesan antes de su consumo mediante métodos físicos o de calentamiento, en donde dichos procesamientos mejoran el perfil de nutrientes de las semillas de leguminosas al aumentar la digestibilidad in vitro de proteínas y carbohidratos de aproximadamente un 40% a un 98% (Ahmand-Sofi et al., 2020).

Por lo general, la preparación de harinas sigue una serie de pasos simples, que se resumen en la Figura 1.1, de las cuales es importante señalar que cada una de las operaciones unitarias puede tener un impacto positivo o negativo en las cualidades nutricionales, funcionales, sensoriales y fitoquímicas de las harinas debido a que existe una relación importante entre el tipo de proceso utilizado y las características del producto (Duodu y Minnaar, 2011).

La limpieza de las semillas oleaginosas es importante, debido a que al llegar a las industrias contienen diversas materias extrañas como tierra, piedras, elementos metálicos, residuos de trapos, etc. Todos estos elementos extraños deben separarse antes de que la semilla pase a ser procesada, ya que algunos pueden originar graves daños en las instalaciones del proceso. Para llevar a cabo dicho

proceso hay que recurrir a diversas máquinas especializadas, como son las cribas con corrientes de aire, separadores magnéticos, entre otras (Baquero, 1988).

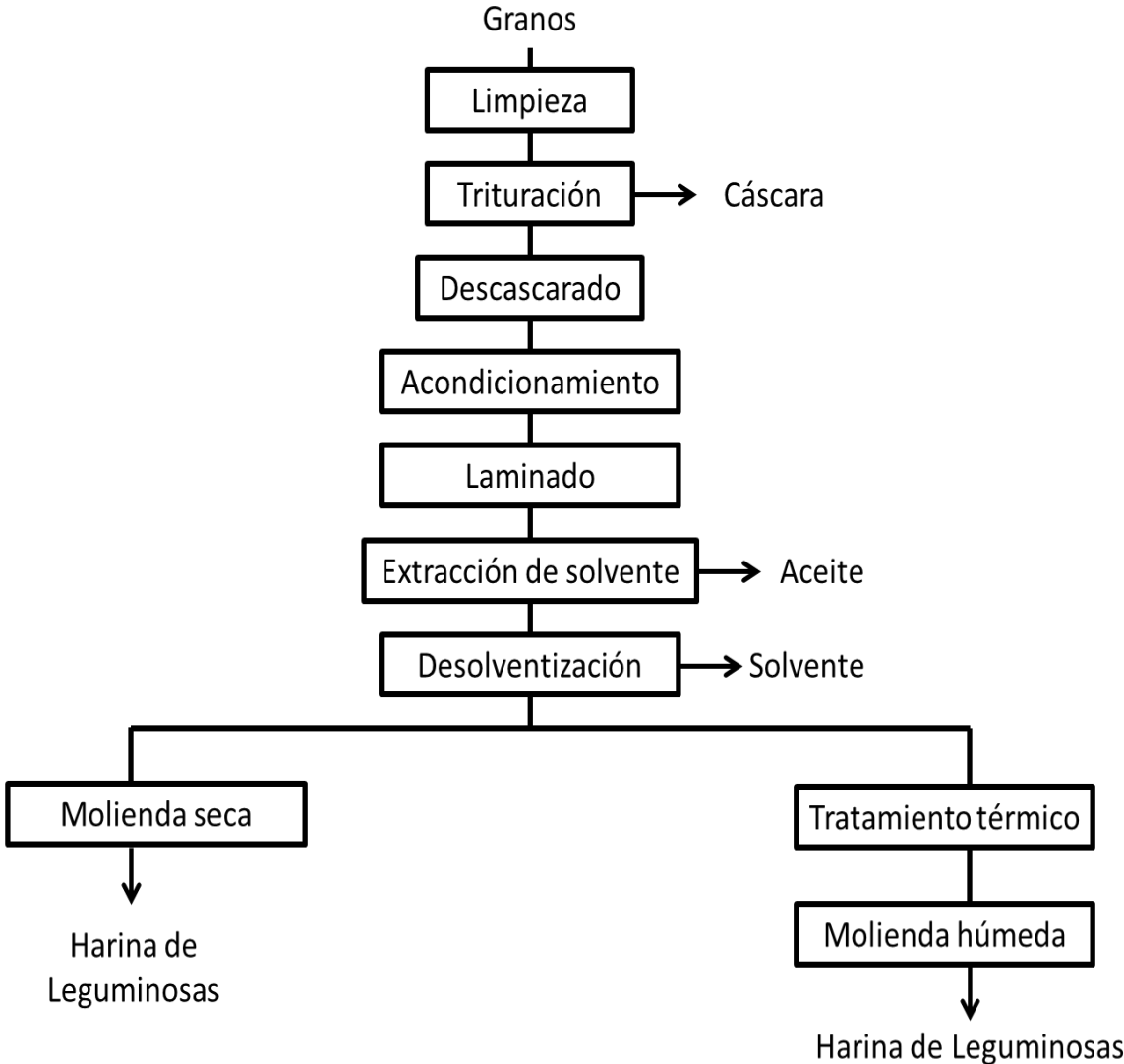


Figura 1.1 Diagrama del proceso para obtener harina de leguminosas (Adaptado de Baquero, 1988; Le Clef y Kemper, 2015; Bormeo, 2008 y INNOGRAIN, 2020).

La trituration de leguminosas se realiza con el fin de facilitar la separación de la cáscara, esta operación se lleva a cabo por medio de molinos de cilindro de uno o más pasos. Los primeros pares de cilindros son de superficie acanalada y los otros de superficie lisa. Los diámetros de los cilindros raramente son superiores a 400 mm y su longitud de unos 1000 mm (Baquero, 1988).

El descascarado o descortezado de leguminosas es el proceso mediante el cual se quita la cubierta de la semilla. Estas contienen componentes fibrosos, proteínas, compuestos fenólicos y varios factores anti nutricionales (por ejemplo, inhibidores de tripsina) que podrían interferir con las propiedades nutricionales y funcionales de las harinas. Las semillas con cubierta muy adherida requieren humectación para ayudar a facilitar su eliminación y la molienda posterior (Duodu y Minnaar, 2011).

El acondicionamiento de una semilla oleaginosa consiste en llevarla a una temperatura y grado de humedad más conveniente en el caso de que dicha oleaginosa se ocupe para la extracción de aceite. Los equipos de calentamiento-acondicionamiento están constituidos por una carcasa cilíndrica calentada por vapor y provistos de un eje con paletas agitadoras que tienen por finalidad remover la masa de semilla para que se caliente con el contacto con las paredes, existiendo la posibilidad de inyectar agua o vapor para conseguir la humedad deseada.

Cuando se trata de semillas con bajo contenido en aceite (inferior al 20%), después de que la masa se haya acondicionado, se procede a un laminado que tiene por objeto reducir a escamas de unos 0.3 mm de espesor para facilitar la extracción posterior del aceite por medio de solvente. Los laminadores son equipos similares en alguna forma a los molinos de cilindros, pero con cilindros de gran diámetro y superficie lisa.

La extracción por solvente es un proceso donde la semilla convenientemente preparada tiene como objetivo extraer la mayor cantidad posible de aceite. El solvente que se utiliza es el hexano debido a que se obtiene mayor calidad del aceite y disminuyen otros problemas, como son la peligrosidad, así como la corrosividad en las instalaciones.

La desolventización ocurre cuando la harina extraída se transporta para la eliminación del solvente. El desolventizador es un recipiente cilíndrico vertical con múltiples bandejas en horizontales en serie (Le Clef y Kemper, 2015). Durante el camino que recorre la harina en el interior del cilindro se va calentando por contacto con la superficie de las bandejas que está calentada por vapor de agua. El solvente se evapora, recogiéndose en un sistema de lavado y condensación, en tanto que la harina sin solvente se extrae por el fondo del cilindro (Baquero, 1988).

La molienda de la harina de leguminosas después de haber sido desolventizada, secada y enfriada puede llevarse a cabo en seco, con el fin de reducir más el tamaño de los gránulos y posteriormente ser tamizada y clasificada; esta harina va a tener un alto contenido de proteína (Bormeo, 2008).

Para la obtención de harina cocida se lleva a cabo todo el procedimiento que se muestra en la Figura 1.1 hasta la desolventización, ya que después de esto se lleva a cabo un tratamiento térmico con vapor para aumentar la temperatura de los gránulos de la harina y así inactivar enzimas y disminuir la carga microbiana (INNOGRAIN, 2020). Posteriormente esta harina de leguminosas se lleva a una molienda húmeda en donde lo que se quiere es la separación de componentes químicos de los gránulos (Bormeo, 2008).

La distribución de tamaño de partícula puede verse afectada por la estructura de la semilla, el proceso de molienda y el tratamiento que se le dé a la semilla. Es importante el tamaño de partícula ya que puede afectar algunas propiedades como lo es la velocidad de hidratación.

El tamaño de los gránulos de almidón de la harina de garbanzo es de 13 a 30 μm (tamaño medio: 22 μm), para la harina de garbanzo tostado de 14 a 26 μm (tamaño medio: 19 μm) y harina de garbanzo descascarado de 11 a 27 μm (tamaño medio: 19 μm). Las formas de los gránulos de las harinas de garbanzo

antes mencionadas exhiben gránulos de almidón de formas esféricas cubiertas con fragmentos de proteína (Kahraman et al., 2018).

La harina de garbanzo tiene una buena absorción de agua debido al contenido total de proteína y pentosanos, especialmente ribosa y desoxirribosa (polisacáridos sin almidón). La cantidad de agua añadida se considera muy importante para la distribución de los materiales de la masa y su hidratación (Mohammed et al., 2012).

La harina que tiene un tamaño de partícula pequeño tiene una alta capacidad de retención de agua. Así mismo, posee una buena capacidad de formación de espuma en la fabricación del pan, sin embargo, la harina de garbanzo tostado reduce su capacidad espumante en comparación con la de garbanzo crudo, esto por la relación con una menor solubilidad de las proteínas resultado del tratamiento térmico. En cuanto a la estabilidad de las espumas sólidas en panificación no influye el tipo de harina ya que presentan el mismo comportamiento (Kahraman et al., 2018).

Usos de la harina de garbanzo

El garbanzo, al ser una rica fuente de nutrientes, ha mostrado beneficios para la salud, por lo que, se ha incluido en una variedad de productos desarrollados como panes, bizcochos, *muffin*, galletas, pasta, alimentos para bebés, bocadillos, espaguetis y postres lácteos (Ahmand-Sofi et al., 2020). Los estudios que se han realizado para sustituir principalmente la harina de trigo son por medio de mezclas o formulaciones en las cuales se usan principalmente la harina de arroz, garbanzo, espesantes en donde se sustituye ya sea parcialmente el trigo para fortificar solo el producto o eliminarlo definitivamente para que sea un producto libre de gluten.

Algunos ejemplos son galletas libres de gluten compuestas de harina de arroz-garbanzo con tres tipos de gomas (acacia, albaricoque y karaya) en el cual los resultados fueron que la harina compuesta de arroz y garbanzo podría utilizarse

como nuevo material base para la preparación de productos de panadería como galletas. El producto desarrollado no solo estaba libre de gluten, sino que también mostró mejores atributos para la aceptabilidad del consumidor (Hamdani et al., 2020).

En el Cuadro 1.3 se presenta la composición química de varios tipos de harinas de garbanzo, las cuales tuvieron diferentes tratamientos antes de su procesamiento.

Cuadro 1.3 Composición química de diferentes harinas de garbanzo.

	Contenido (%)						Referencia
	Humedad	Proteína	Lípidos	Fibra	Carbohidratos	Cenizas	
Grano cocido	61.87	9.29	3.03	1.51	23.46	0.84	(Ponce et al., 2017)
Harina garbanzo crudo	8.62	22.62	7.81	3.39	54.42	3.14	
Harina garbanzo cocido	9.94	21.17	6.98	3.27	54.30	2.34	
Harina de garbanzo	-----	25.5	5.0	-----	-----	2.8	(Mohammed et al., 2012)
Harina garbanzo descascarado comercial	-----	21.15	7.55	-----	-----	2.32	(Kahraman et al., 2018)
Harina garbanzo crudo	-----	23.52	5.71	-----	-----	3.09	
Harina garbanzo tostado	-----	23.10	7.57	-----	-----	2.68	
Harina garbanzo comercial	-----	25.4	5.6	-----	68.9	-----	(Burešová et al., 2017)
Harina garbanzo comercial	-----	24	3.8	-----	61	1.5	(Hamdani et al., 2020)

En la actualidad se ha utilizado la proteína de garbanzo como sustituto de proteína animal en la preparación de merengues. En un estudio reciente se utilizó el agua de cocción del garbanzo con aplicación del ultrasonido de alta intensidad, donde

se mejoraron la expansión, la estabilidad, la textura y el color de las espumas formadas. La sonicación redujo el tamaño medio de las burbujas y mejoró la homogeneidad de las espumas. Por lo que en general el merengue francés elaborado con el agua de cocción de garbanzo tratada mostró un mejor color y textura en comparación con el merengue elaborado con el agua de cocción de garbanzo sin tratar (Meurer et al., 2020).

En la elaboración de *muffin* se sustituyó la harina de trigo por la de garbanzo del cual se llegó a la conclusión de que la harina de garbanzo tiene potencial para reemplazar la harina de trigo y poder realizar *muffin* libre de gluten, sin embargo, aún se realizarán estudios sensoriales de los *muffin* horneados para determinar su calidad vinculando las propiedades reológicas de los batidos con las propiedades funcionales de las proteínas y las características tecnológicas de los productos finales (Álvarez et al., 2017).

Al pan se le han realizado varios estudios en los que se reemplaza parcialmente la harina de trigo por harina de garbanzo en mezcla con xantana donde se obtuvo que la mezcla funciona bien en la fermentación y obteniéndose una masa con las características similares al pan de trigo comercial (Shrivastava y Chakraborty, 2018). En otro estudio donde se realizó la mezcla de harina de trigo y garbanzo sin adición de espesantes, se obtuvo que la harina de garbanzo modificó las propiedades reológicas de la masa aumentando el tiempo de desarrollo y su estabilidad, así como las características del pan elaborado con un buen volumen, estructura interna y textura (Mohammed et al., 2012). Por último se estudió un pan libre de gluten con harina de arroz y garbanzo teniendo como resultado que las mezclas de estas harinas tienen un efecto positivo en el desempeño tecnológico de las masas mejorando en sus propiedades viscoelásticas (Kahraman et al., 2018).

1.3 Panificación

Productos de panificación

De acuerdo con la NMX-F-516-1992 los productos de panificación comprendidos en esta norma, se clasifican de acuerdo con su composición en:

Tipo I: Pan blanco, bolillo y telera

Tipo II: Pan de harinas integrales

Tipo III: Pan, productos de bollería

Tipo IV: Pan dulce

Tipo V: Galletas

Tipo VI: Pastas secas

Tipo VII: Pastel o panque

Tipo VIII: Pay o tarta

A continuación se describen los productos de interés para este estudio de acuerdo con la NOM-247-SSA1-2008.

Pan de harinas integrales

Al producto que resulta de la panificación de la masa fermentada, preparada con mezclas de harina de trigo integrales, harinas de cereales integrales o harina de leguminosas, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

Pastel o panqué

Producto que se somete a batido y horneado, preparado con harinas de cereales o leguminosas, azúcares, grasas o aceites, leudante y sal; adicionada o no de huevo y leche, crema batida, frutas y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

Con base a lo mencionado en la NOM-F159-S-1979 el pan debe de cumplir con las siguientes especificaciones que se muestran en el Cuadro 1.4.

Cuadro 1.4 Características sensoriales para el pan y panqué (NOM-F159-S-1979).

Características sensoriales	
Aspecto externo	La pieza de pan debe presentar la forma de un paralelepípedo simétrico, pudiendo ser rectangular o abombado con aristas ligeramente redondeadas, sin extremos bajos ni cuadrados. No debe presentar forma de tornillo, ni estar colapsado.
Color exterior	La superficie exterior y la corteza deben presentar un color amarillo rojizo, el cual deberá ser lo más uniforme posible por el horneado y en todas sus caras, a excepción de la greña, no deberá presentar manchas ni vetas y deberá tener cierto brillo.
Tipo de corteza	Debe ser delgada, suave, romperse fácilmente y no debe ser correosa.
Color de la miga	Debe ser blanco brillante, con un matiz uniforme, sin vetas, manchas ni coloraciones.
Olor	Agradable, característico, no debe ser picante ni rancio.
Sabor	Agradable, característico, no debe de ser ácido.
Textura	Sensación al tacto: suave, firme y no desmoronable ni pegajoso. Masticación: no debe ser masudo, seco, correoso o pegajoso.

Deberá cumplir con las especificaciones que se presentan en el Cuadro 1.5.

Cuadro 1.5 Propiedades físicas y químicas del pan (NOM-F159-S-1979).

Especificaciones	Mínimo	Máximo
Humedad (%)	30	38
Cenizas (%)	1.8	2.5
Proteínas (Nx5.7) (%)	8	9
Grasas (%)	0.8	4
Fibra cruda (%)	0.2	0.4
pH	4.5	5.8

Galletas

Producto elaborado fundamentalmente, por una mezcla de harina de trigo u otros cereales, grasas, aceites comestibles o sus mezclas y agua, con o sin relleno, adicionada o no de azúcares, de otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos, sometida a proceso de amasado o batido, y otros procesos como fermentación, modelado, troquelado y posterior tratamiento térmico, dando lugar a un producto de presentación muy variada, caracterizado por su bajo contenido de humedad.

Con base en la NMX-F-006-1983 las galletas deben de cumplir con las siguientes especificaciones sensoriales que se muestran en el Cuadro 1.6 y fisicoquímicas en el Cuadro 1.7, en un ejemplo de galletas entrefinas (12.5% de grasa).

Cuadro 1.6 Propiedades sensoriales de las galletas (NMX-F-006-1983).

Sensoriales	
Color	Característico del tipo de galleta sin presentar áreas negras por quemaduras.
Olor	Característico, no debe presentar olores extraños ni a rancidez.
Sabor	Característico del producto, sin sabores extraños.
Aspecto	Tamaño uniforme, de acuerdo con el tipo de galleta.
Consistencia	La característica, de cada producto.

Cuadro 1.7 Propiedades físicas y químicas de la galleta (NMX-F-006-1983).

Especificaciones	Mínimo	Máximo
Humedad (%)		6.0
pH	6.0	8.0
Cenizas (%)		1.5
Proteínas (%)	8.0	
Fibra cruda (%)		0.5
Extracto etéreo (%)	15.0	
Carbohidratos diferencia a 100		

1.3.1 Formación de espuma en el proceso de panificación

Según Wilde (2012) una espuma se define como una suspensión de burbujas de gas en una fase líquida continua. A veces, la fase líquida puede solidificarse (en el caso del pan) para mantener la estructura de la espuma en su lugar. El problema de las espumas es que son intrínsecamente inestables. Los líquidos puros son incapaces de soportar una espuma y requieren moléculas tensoactivas para formar una película alrededor de las burbujas para estabilizarlas contra la coalescencia. Hay dos etapas fundamentales en la vida útil de una espuma, la de (1) formación y (2) estabilidad.

La espuma se forma cuando se incorporan burbujas de aire en la fase líquida al agitar: en la panificación, esto ocurre durante la etapa de mezcla. Una vez que se

incorporan las burbujas, pueden romperse aún más durante la mezcla o agitación, reduciendo así el tamaño medio de las burbujas y aumentando el número de burbujas. El tamaño de las burbujas suele ser muy importante, ya que puede influir en cómo crecen las células de gas durante la fermentación y, en última instancia, en la textura del producto final. El tamaño de las celdas de gas creadas generalmente está limitado por tres factores principales: (1) entrada de energía durante la mezcla (2) viscosidad de fase continua y (3) tensión superficial. Durante la formación de la espuma, la cantidad de energía utilizada (es decir, la velocidad y el tiempo de mezcla) puede influir en la distribución del tamaño de las burbujas. Mayores energías de mezcla incorporarán más gas y también podrán romper las burbujas existentes de manera más efectiva. Los procesos de formación de espuma, como batir o mezclar, se producen en escalas de tiempo cortas ($< 0, 1$ s). A medida que se produce más área en la interfase, se requiere una rápida adsorción para ocupar la superficie recién creada. Por lo tanto, se ha demostrado que las proteínas que reducen la tensión superficial rápidamente son más eficientes en la creación de espumas. Un parámetro específico de la panificación es la presión durante la mezcla, ya que se requiere para el desarrollo de la red de gluten. Las variaciones de presión también pueden controlar el desarrollo de las celdas de gas. Utilizando diferentes regímenes de presión, se pueden producir panes de estructuras de celdas de gas muy diferentes a partir de la misma formulación básica.

Es bien conocido que el aporte de energía, la viscosidad, la tensión superficial y la presión de mezcla pueden influir en el tamaño de las burbujas creadas durante la formación de la espuma. La velocidad y la presión de mezclado tienen un gran impacto en el tamaño y la estructura de las burbujas, pero el equilibrio entre la tensión superficial y la reología de la masa no está claro. Una vez que se han creado las celdas de gas, actúan como sitios de nucleación para el CO_2 producido durante la fermentación por la levadura. Luego, las celdas de gas se expanden haciendo que la masa suba. La estructura de la masa ahora depende de los

procesos de estabilidad de la espuma para mantener la estructura global deseada de la celda de gas.

Hay tres mecanismos principales de inestabilidad que controlan la estructura general de una espuma: (1) drenado, (2) coalescencia, y (3) desproporción. Sin embargo, en el caso de la masa de pan, las propiedades reológicas de la masa son tales que el drenado no es realmente un problema a gran escala. Es decir, el módulo viscoelástico de la mayoría de las masas es lo suficientemente alto como para evitar el movimiento contra la gravedad de las celdas de gas individuales durante la escala de tiempo del proceso de panificación normal. Sin este movimiento, no se producirá el drenado. Durante las últimas etapas de la fermentación, las burbujas harán cada vez más contacto y es posible que la red de gluten no las separe. Entonces, las propiedades de drenado de la película líquida delgada, que se cree que separa las burbujas en esta etapa, se vuelven muy importantes para la estabilidad de las celdas de gas continuas.

En cuanto a la desproporción las masas de pan son más complejas, porque no se trata simplemente del transporte de gas entre las burbujas, ya que la levadura o los agentes leudantes producen continuamente gas (CO_2), y el transporte neto se realiza en las burbujas desde la fase acuosa circundante. Por lo tanto, sigue siendo un punto discutible si la desproporción ocurre realmente en los sistemas de masa. Estudios recientes sugieren que la presión de Laplace puede tener un efecto, de modo que la velocidad de transporte de gas hacia las burbujas más pequeñas es más lenta, porque la presión interna es más alta. Dependiendo de las presiones parciales de CO_2 en la fase circundante, las burbujas más pequeñas pueden dejar de crecer y de hecho pueden desaparecer.

Es importante para la calidad del horneado que, durante ciertas etapas del proceso de panificación, cuando las celdas de gas entran en estrecho contacto, se mantengan estables. De lo contrario, se producirá la coalescencia de la celda de gas y el colapso de la masa. Se cree que la fase acuosa de la masa es la principal

fuentes de material tensoactivo que estabiliza las células de gas durante estas etapas críticas. La matriz de almidón y gluten absorbe la mayor parte del agua que se agrega a la masa.

Sin embargo, se ha encontrado que la masa que contiene menos del 35% de agua no retiene gas: la estabilidad de la celda de gas mejora con la adición de agua. La estabilidad y las propiedades superficiales de los extractos acuosos de masa se han relacionado con la calidad del horneado.

Para crear y estabilizar espumas, los componentes activos de la espuma deben ser solubles y libres para difundirse a la superficie de las burbujas recién creadas. La masa de pan es una red viscoelástica compleja de varios componentes donde las propiedades físicas y la morfología cambian con el tiempo y el procesamiento. La estructura de la red tendrá un impacto profundo en la capacidad de los diferentes tensoactivos para difundirse a las superficies. La red de almidón y gluten tiene efecto sobre el movimiento de las moléculas tensoactivas, ya que es probable que restrinja la difusión molecular, considerando que las proteínas más grandes no podrán atravesar la red de la misma manera que los lípidos y tensoactivos de bajo peso molecular. Se cree que, durante el proceso de humectación e hidratación de la mezcla, el material tensoactivo puede esparcirse en la superficie de las burbujas que entran en contacto con partículas insolubles. Por lo tanto, las proteínas menos solubles en la matriz de gluten pueden jugar un papel estabilizador de la superficie de las células de gas.

La desproporción es la otra causa principal de inestabilidad en las espumas, esta se lleva a cabo cuando el gas de las burbujas pequeñas se transporta a las grandes. La desproporción en la masa debería ser bastante sencilla, ya que las burbujas son inmovilizadas por la matriz de gluten-almidón y el gas (CO_2) tiene una alta solubilidad en la fase acuosa. Sin embargo, el factor de complicación es el hecho de que el gas se produce continuamente y hay un transporte neto de gas hacia las burbujas para hacer que la masa suba. Además, las burbujas tienen que

crecer contra la resistencia de la viscoelasticidad de la matriz de gluten-almidón. (Wilde, 2012).

1.3.2 Propiedades reológicas de las masas

Las propiedades reológicas de la masa son un factor esencial en la determinación de la calidad del pan y galletas. Las masas que son demasiado duras no permiten el desarrollo adecuado de las burbujas y dan como resultado la formación de panes y galletas densas, desagradables y de pequeño volumen, mientras que las masas que son demasiado débiles no pueden retener las burbujas y dan como resultado grandes agujeros en la barra o colapso del pan y galletas. Cuando la masa se somete a perturbaciones mecánicas muestra un comportamiento viscoelástico. Es decir, la fuerza mecánica aplicada a la masa da como resultado cambios dimensionales que pueden ser parcial o totalmente reversibles cuando se elimina la fuerza. Si se observa un máximo de resistencia durante el proceso de mezcla esto implica que la masa almacena parte de la energía mecánica gastada como energía potencial elástica (Belton, 2012). La variedad de ingredientes que se agregan a la mezcla de la masa pueden tener efectos sobre su reología por lo que el variar la harina que es el componente principal para la elaboración de dichos productos se verán cambios significativos tanto en la masa como en los productos terminados.

Las masas que son elaboradas con harina de trigo presentan una mayor resistencia debido al aumento de la proporción de grupo tiol o grupo sulfhidrilo (SH), que se oxida en presencia de oxígeno y la acción mecánica. La transformación de enlaces SH en enlaces disulfuro (enlace SS) y este enlace SS recién formado se debe a la solidificación (aumento de la elasticidad) del gluten y la masa, esto se observa cuando se realiza su prueba de viscosidad con un extensógrafo (Mohammed et al., 2012). En otro caso donde se analizaron las propiedades reológicas de la masa de trigo y la relación con su composición (contenido de agua, agentes oxidantes y reductores, emulsificantes) utilizando un reómetro de esfuerzo controlado. Los resultados demostraron que al agregar agua

a la masa propicia un efecto plastificante sin modificar su estructura, sin embargo, los demás componentes como el ácido ascórbico y la lecitina modifican levemente la estructura de la masa (Rodríguez et al., 2005).

También se usó la mezcla de harinas de arroz con trigo e hidrocoloides (xantana y propilenglicol) en donde las medidas reológicas se llevaron a cabo utilizando un reómetro de esfuerzo controlado equipado con una geometría de placa paralela (25 mm de diámetro). Los datos obtenidos fueron módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y $\tan \delta$ ($\frac{G''}{G'}$). La viscoelasticidad de las formulaciones sin gluten se evaluó mediante ensayos dinámicos de pequeña deformación. A partir de los datos obtenidos bajo cizalla oscilatoria, se encontró que los batidos mostraban un comportamiento similar a un gel débil porque las magnitudes de G' son mucho más altas que las de G'' y los módulos viscoelásticos dependen de la frecuencia. La adición de ambos hidrocoloides mejoró considerablemente los módulos de G' y G'' de la masa. El módulo de almacenamiento y la $\tan \delta$ a una frecuencia constante (1 Hz), se utilizaron para comparar muestras. La magnitud de G' aumentó con el aumento del contenido de polímero (Peressini et al., 2011).

Para los casos donde se sustituyó completamente la harina de trigo por la mezcla de harina de arroz con garbanzo se estudiaron con un reómetro utilizando una geometría de placa paralela (60 mm de diámetro) con un espacio de 1 mm entre las placas, realizando un barrido de cizalla oscilatoria a una frecuencia constante y pruebas de barrido de frecuencia aumentando la frecuencia y a una deformación oscilatoria constante. Donde los espectros mecánicos revelaron que la adición de diferentes tipos de proteínas vegetales tiene un cambio en las propiedades viscoelásticas de las masas (Matos et al., 2014).

1.3.3 Propiedades texturales y sensoriales del pan y galletas

Las propiedades de textura de todos los productos a base de cereales, legumbres y leguminosas están fuertemente influenciadas por la calidad de los ingredientes utilizados y de su interacción durante el mezclado. En el pan y galletas, las

características de textura clave provienen del desarrollo de una red de proteína, principalmente del gluten el cual contiene gliadinas y gluteninas, esto en la masa. La formación de una estructura adecuada es esencial para la textura del producto final (Cauvian, 2004).

Son diversas las propiedades texturales que se pueden determinar dependiendo de las características del producto. En el caso del pan en el que se ha sustituido parcialmente la harina de trigo por garbanzo, se han realizado pruebas con un colorímetro donde se observó el color de la miga y la corteza del pan fresco. También se le realizaron pruebas sensoriales donde se ocuparon 5 panelistas y estos evaluaron la apariencia, textura de la miga, grano de la miga, color de la corteza, sabor, olor y aceptabilidad en general (Mohammed et al., 2012).

En otro tipo de pan en que se utilizó una mezcla de harina de arroz con trigo en el que se realizaron pruebas a la hogaza para determinar su volumen, se obtuvieron los diferentes valores y se realizaron gráficos del volumen en función de la concentración donde se observó su variación. Para la firmeza de la miga del pan se realizó una prueba de compresión uniaxial (Peressini et al., 2011).

Para un estudio donde se utilizaron varias harinas (amaranto, trigo, garbanzo, maíz, mijo y quínoa) en mezcla con arroz se realizó una prueba de perfil de textura del cual los parámetros que se obtuvieron fueron dureza, pegajosidad, elasticidad, cohesión y masticabilidad. También se determinó la porosidad a través del número de poros en imágenes digitalizadas (Burešová et al., 2017).

En el caso del *muffin* libre de gluten se realizaron pruebas de volumen que se determinó por el desplazamiento de semillas de colza. Para el color de la miga se midieron los parámetros, luminosidad, L^* (0 [negro], 100 [blanco], a^* , donde un valor negativo indica tono verde, un valor positivo indica tono rojo, b^* , tono azul en valor negativo y amarillo para positivo. Además, se obtuvieron los valores de tono o ángulo de tono (h) y Cromo (C^*). Se hizo una prueba de perfil de textura donde

se realizó una doble compresión, los parámetros obtenidos de las curvas fueron dureza, elasticidad, cohesión, masticabilidad y resiliencia (Matos et al., 2014).

A las galletas que son libres de gluten a base de harina de arroz y garbanzo en mezcla con gomas exudadas (acacia, albaricoque y karaya) se le realizaron pruebas de color de la superficie de las galletas midiendo los valores de triestímulo L^* (luminosidad), a^* (enrojecimiento) y b^* (amarillez). Se determinó la fracturabilidad, dureza y extensibilidad como prueba de textura. Para la evaluación sensorial se utilizaron 15 miembros de entre 22 a 50 años los cuales evaluaron la textura, apariencia, la sensación en la boca, el sabor y la aceptabilidad general del producto (Hamdani et al., 2020).

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología de la investigación documental

2.1.1 *Objetivo general*

Analizar el efecto de la adición de la harina de garbanzo sobre las propiedades reológicas de la masa, bajo pruebas de cizalla oscilatoria y métodos empíricos, así como las propiedades físicas y texturales del pan, *muffin* y galletas, mediante la determinación de color y porosidad de la miga, perfil de textura y dureza, identificando así las potenciales aplicaciones de harina de garbanzo en la panificación.

2.1.2 *Selección del material*

Para asegurar que la información recolectada de este proyecto tenga referencias verídicas y fuentes confiables, se realizó una búsqueda en línea donde se utilizaron diferentes bases de datos como *Elsevier*, *EBSCOhost*, *ScienceDirect*, *Scielo*, *Scopus*, consultando revistas electrónicas especializadas que incluyen investigaciones científicas recientes, además de libros que cuentan con la información necesaria para tener conocimiento de los antecedentes del tema.

Para dar seguimiento al objetivo general, se realizó una investigación documental relacionada con el tema del efecto que tiene la adición de harina de garbanzo e hidrocoloides, seleccionando tres artículos para pan Mohammed et al., 2012; Kahraman et al., 2018; y Burešová et al., 2017, uno para el *muffin* Álvarez et al., 2017 y otro para la galleta Hamdani et al., 2020.

2.1.3 Revisión y organización del material

El material recolectado se clasificó y separó de acuerdo con el tipo de harina (comercial, de garbanzo tostado, crudo o cocido), tipo de cereal (arroz, trigo o garbanzo), tipo de producto (pan, *muffin*, galleta), grado de sustitución (parcial o completa), combinación de harinas (garbanzo con arroz, garbanzo con trigo, garbanzo con arroz y gomas), pruebas de cizalla oscilatoria y empíricas a la masa, pruebas físicas y texturales al producto terminado para poder interpretar dicha información y sustentar la solución del problema, así como cubrir con el objetivo general.

Se estableció un índice con los temas que abarca el proyecto, que van desde los antecedentes en donde se incluye el garbanzo, su valor nutricional, obtención de harina de garbanzo, las propiedades de la harina de garbanzo, así como su usos. Se define cada producto de panificación (pan, *muffin*, galleta) y las características que cada uno debe de cumplir en cuanto a propiedades físicas y químicas. Se proporciona información sobre la formación de una espuma durante el proceso de panificación, así como de las propiedades reológicas y mecánicas de la masa y propiedades físicas y texturales de los productos terminados.

La información de los artículos se delimitó de acuerdo con el producto (pan, *muffin*, galleta), propiedades reológicas y mecánicas a la masa y propiedades físicas y texturales al producto terminado. En cuanto al pan se utilizaron principalmente tres artículos en donde en uno se menciona el uso de harina de garbanzo en mezcla con harina de trigo (Mohammed et al., 2012) y donde se le hacen pruebas mecánicas a la masa utilizando un extensógrafo, así como, al producto en cuanto al color de la corteza y miga del pan. En otro artículo donde utilizaron harina de garbanzo en mezcla con harina de arroz para elaborar la masa y se midieron sus propiedades viscoelásticas con un reómetro (Kahraman et al., 2018). En el tercer artículo se comparan diversas harinas entre las que se incluyen las de garbanzo con arroz y se realizan pruebas de elongación uniaxial a la masa

con un reómetro y pruebas de perfil de textura y porosidad al producto (Burešová et al., 2017).

Para las aplicaciones en *muffin* se utilizó principalmente un artículo donde se emplea una mezcla de harina garbanzo con harina de trigo, en el cual a la masa se le midieron sus propiedades viscoelásticas con un reómetro rotacional, así como el color y su viscosidad (Álvarez et al., 2017). En cuanto a las galletas se utilizó también un solo artículo en el cual se adiciona harina de garbanzo con arroz y gomas, en este se le mide sus propiedades viscoelásticas a la masa con un reómetro y el color y prueba de textura empleando tres puntos de apoyo para el producto final (Hamdani et al., 2020).

2.1.4 Análisis de datos

Se compararon los resultados de los artículos seleccionados para definir el efecto que tiene la adición de harina de garbanzo en la masa y en cada uno de los productos terminados. Para el pan se tienen cuadros con datos de las prueba de textura por extensógrafo y la prueba de elongación uniaxial a la masa, en cuanto al producto terminado, se cuenta con datos del color de la corteza y de la miga del pan, perfil de textura y porosidad de la miga del pan (Mohammed et al., 2012); Burešová et al., 2017). En otro artículo se presenta el gráfico de barrido de frecuencia de la masa (Kahraman et al., 2018).

Para el *muffin* se tienen gráficos de barrido de frecuencia, módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') y $\tan \delta$, así como, datos de los parámetros reológicos, color y viscosidad de la masa (Álvarez et al., 2017). En relación con la galleta se tiene un gráfico de barrido de frecuencia de la masa y datos del color, la prueba de textura empleando tres puntos de apoyo y estudio de vida útil de la galleta (Hamdani et al., 2020).

2.2 Metodología empleada en los artículos seleccionados

2.2.1 Materiales

Pan

En el artículo de Mohammed et al. (2012) la harina de garbanzo se obtuvo después de moler los granos de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) variedad Kabuli en un molino de martillos de laboratorio (Retsch, Alemania) hasta que pudieron pasar a través de un tamiz de 1.0 mm. La harina de garbanzo contiene proteína 25.5% ± 1.05%, lípidos 5.0% ± 0.18% y cenizas 2.8% ± 0.07%. Harina de trigo comercial tipo 405 se obtuvo del Lindl Markey de Berlín, Alemania (Proteína 11.9% ± 0.56%, lípidos 1.8% ± 0.32% y cenizas 0.40% ± 0.03%). Se empleó azúcar, sal, levadura fresca comprimida y agua.

En el artículo de Kahraman et al. (2018) la harina de arroz es comercial de Beneo-Remy NV de Leuven-Wijgmaal, Bélgica, la cual contiene proteína 8.29% ± 0.18%, lípidos 1.28% ± 0.19% y cenizas 0.68% ± 0.00%. La harina de garbanzo descascarado también comercial de Homecraft Pulse 4101, Ingredion, Alemania, contiene proteína 21.15% ± 0.41%, lípidos 7.55% ± 0.05% y cenizas 2.32% ± 0.77%. Se obtuvieron semillas de garbanzo crudo (Yayla, Ankara, Turquía) y garbanzo tostado (Tuğba, Aydın, Turquía) de un mercado local turco y se molieron en un molino de laboratorio para obtener harina de garbanzo (proteína 23.52% ± 0.30%, lípidos 5.71% ± 0.24%, cenizas 3.09% ± 0.01%) y harina de garbanzo tostado (proteína 23.10% ± 0.79%, lípidos 7.57% ± 0.08%, cenizas 2.68% ± 0.03%), con tamaño de partícula ≤1 mm. Los demás ingredientes que se utilizaron en la masa fueron hidroxipropilmetilcelulosa (Benecel F4M, Ashland, EE. UU), levadura instantánea, (Pakmaya, Estambul, Turquía), azúcar, sal, aceite de girasol y agua.

En el artículo de Burešová et al. (2017) la harina de arroz y garbanzo son comerciales proporcionadas por Extrudo Becice, S.R.O., República Checa, donde la harina de arroz contiene proteína 7.9%, carbohidratos 91.6% y lípidos 0.5%, mientras que la harina de garbanzo contiene proteína 25.4%, carbohidratos 68.9%

y lípidos 5.6. Los demás ingredientes que se ocuparon fueron agua, sacarosa, levadura seca y sal.

Muffin

Se emplearon harinas de trigo (humedad 13.5 % y proteína 10.2 %) y garbanzo comerciales de la marca Soria, España. Los demás ingredientes que se utilizaron fueron yema de huevo entera líquida pasteurizada (OvopakVR, Álvarez Camacho SL, Sevilla, España), sacarosa (AB Azucarera Iberia SL, Madrid, España), sal, leche entera pasteurizada por ultra alta temperatura (Pascual, Burgos, España), aceite de girasol refinado (Koipesol, Madrid, España), jugo de limón natural (cultivar "Primofiori", España) y bicarbonato de sodio (Montplet & Esteban, SA, Madrid, España) (Álvarez et al., 2017).

Galleta

La harina de arroz se obtuvo de la molienda de granos de arroz recolectados de las altitudes más altas de Jammu y Cachemira, India. Los granos de arroz se molieron hasta obtener harina usando un molinillo de laboratorio con una velocidad de la cuchilla de 5000 rpm (HL1632/00, 500 W, Philips, Ámsterdam) durante 10 minutos y se tamizaron (125 μ m). La harina que se obtuvo contiene proteína 3.6% \pm 0.2%, lípidos 1.1% \pm 0.1%, cenizas 1.0% \pm 0.1% y carbohidratos 85.0% \pm 0.4%. La harina de garbanzo comercial (Rajdhani Besan, Nueva Delhi, India) se compró en un mercado local en Hazratbal, Srinagar, India y también se tamizó de manera similar a la harina de arroz. Esta contiene proteína 24% \pm 1%, lípidos 3.8% \pm 0.3%, cenizas 1.5% \pm 0.4% y carbohidratos 61.0% \pm 0.3%. Para las gomas de acacia y karaya con una pureza del 98% (Himedia, LBS Marg, Mumbai, India) se obtuvieron de los distribuidores locales. El albaricoque, se recogió del jardín botánico de la Universidad de Cachemira (Srinagar, India) y se clasificó a mano para eliminar pequeños fragmentos de corteza de árbol. El exudado de goma de albaricoque se disolvió en agua a temperatura ambiente (25 °C) seguido de la eliminación de las impurezas no disueltas mediante centrifugación (5810 R, Eppendorf, Hamburgo, Alemania) a 4000 \times g durante 10-20 min a 10 °C. La

extracción de goma de la solución de polisacárido transparente se realizó mediante precipitación usando etanol absoluto. Los otros ingredientes que se utilizaron fueron grasa vegetal (Dalda, Hindustan Unilever Ltd., Mumbai, India), azúcar, leche desnatada en polvo instantánea (Every Day, Nueva Delhi, India), sal, levadura en polvo (Tops, Nueva Delhi, India) y clara de huevo obtenida de la raza de gallinas 'White Leghorn' (Hamdani et al., 2020).

2.2.2 Preparación de la muestra

A continuación se describe el proceso para cada uno de los productos.

Pan

En el artículo de Mohammed et al. (2012) las masas se prepararon mezclando harina de trigo y garbanzo en diferentes proporciones 100:0, 90:10, 80:20, 70:20 y 0:100 (trigo: garbanzo p/p), con 62% de agua durante 5 min en una batidora con paleta de espiral a 25 °C. Inmediatamente después de mezclar, la masa se transfirió al sistema de medición.

En el caso del pan se preparó de acuerdo con la Norma ICC-Standard No. 131 de la siguiente manera: Primero se mezclaron en seco 500 g de harina de trigo o harina de trigo sustituida con 10%, 20% o 30% de harina de garbanzo en el tazón de la batidora durante 1 minuto. A continuación, se añadió 1% de azúcar, 1.2% de sal, 3% de levadura fresca comprimida, previamente disuelta en agua, seguido de la adición de agua hasta una consistencia de 500 Unidades Brabender (BU) y se continuó el proceso de amasado por 5 min para después colocar en moldes y pasarlos a una cámara de fermentación a 30 °C 75–80% de humedad relativa. Después de 45 min de fermentación, la masa se golpeó para eliminar los gases, se fermentó durante 45 min más y se horneó a 240 °C durante 30 min. Durante la cocción, se vaporizó un poco de agua en el horno para evitar una sequedad extrema de la corteza del pan. Cada prueba de horneado se realizó por triplicado. El proceso se ejemplifica en la Figura 2.1 y Figura 2.2.

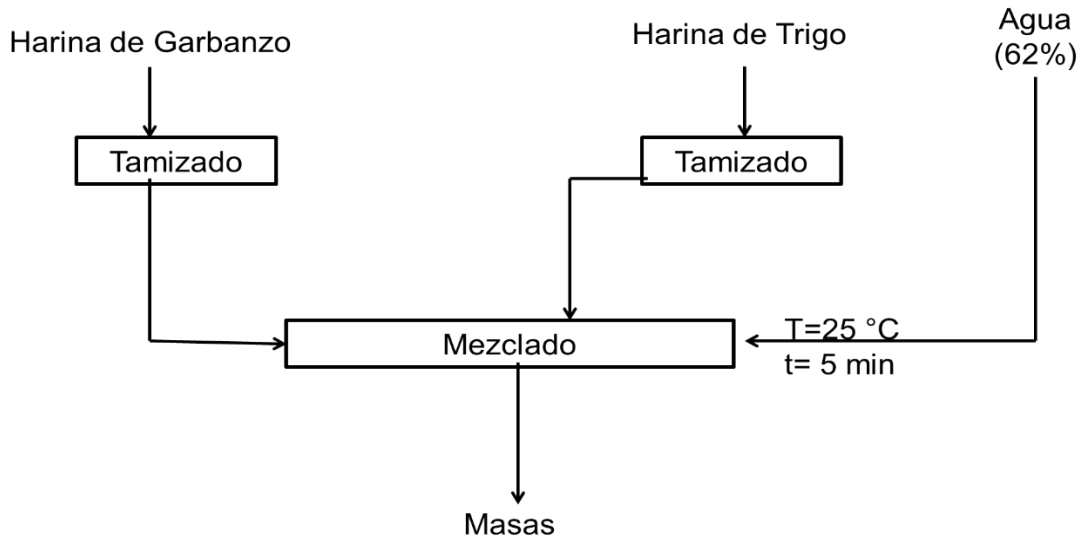


Figura 2.1 Diagrama de proceso para la elaboración de la masa para pan (Mohammed et al., 2012).

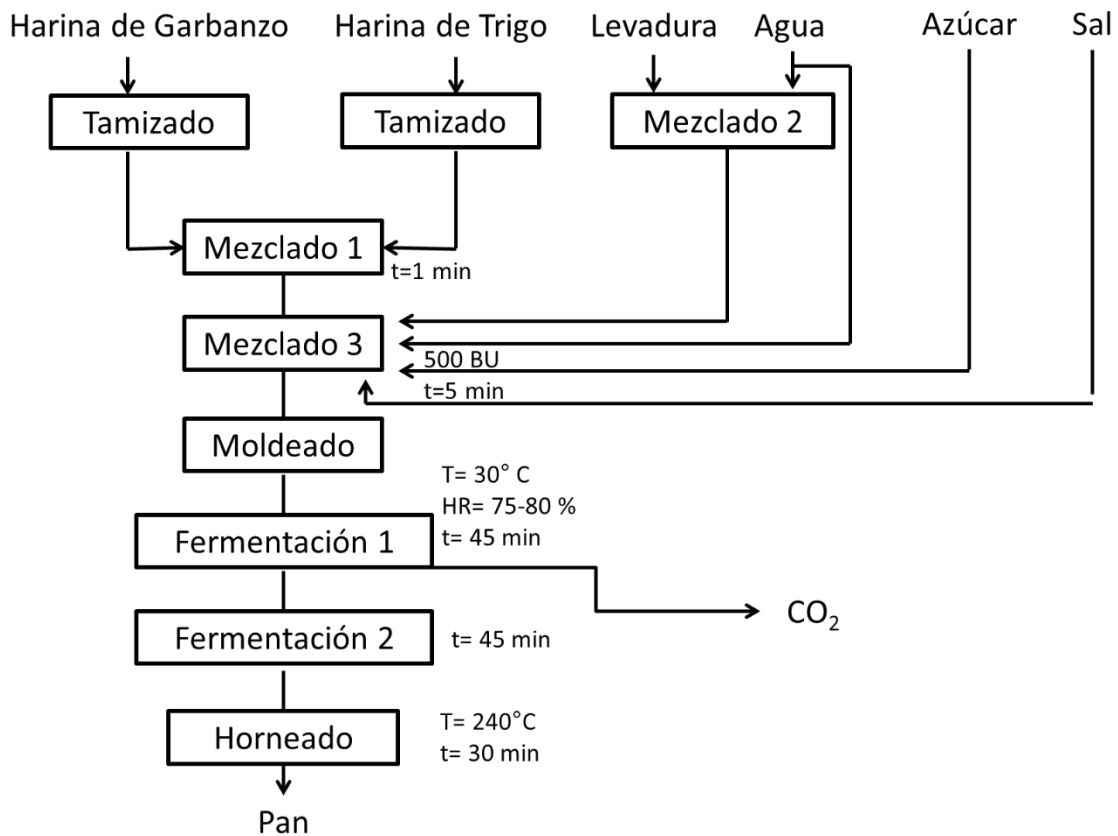


Figura 2.2 Diagrama de proceso para la elaboración del pan (Mohammed et al., 2012).

En el artículo de Kahraman et al. (2018) para la preparación de la masa se utilizó el farinógrafo Brabender (Brabender OHG, Alemania). Además de las mezclas de harina de garbanzo crudo, tostado y descascarado con harina de arroz donde las proporciones de arroz: garbanzo fueron 75.15:24.85, la formulación para la masa incluía hidroxipropilmetilcelulosa (1.72 g/100 g), azúcar (2 g/100 g), sal (1.5 g/ 100 g), levaduras instantáneas (2.5 g/ 100 g), aceite de girasol (5.27 g/ 100 g) y agua. La cantidad de agua agregada a cada formulación se determinó para lograr una consistencia de masa de 125 ± 5 Unidades Brabender (UB). Los componentes secos (mezclas de harina, hidroxipropilmetilcelulosa, levadura instantánea, azúcar y sal) se añadieron al recipiente del farinógrafo (300 g de capacidad) y se mezclaron durante 1 min. Luego, después de 2 min, se agregó parte del agua, aceite vegetal y el agua restante. Finalmente, la masa se mezcló durante 8 min a 25°C y se registró la consistencia. El proceso se ejemplifica en la Figura 2.3.

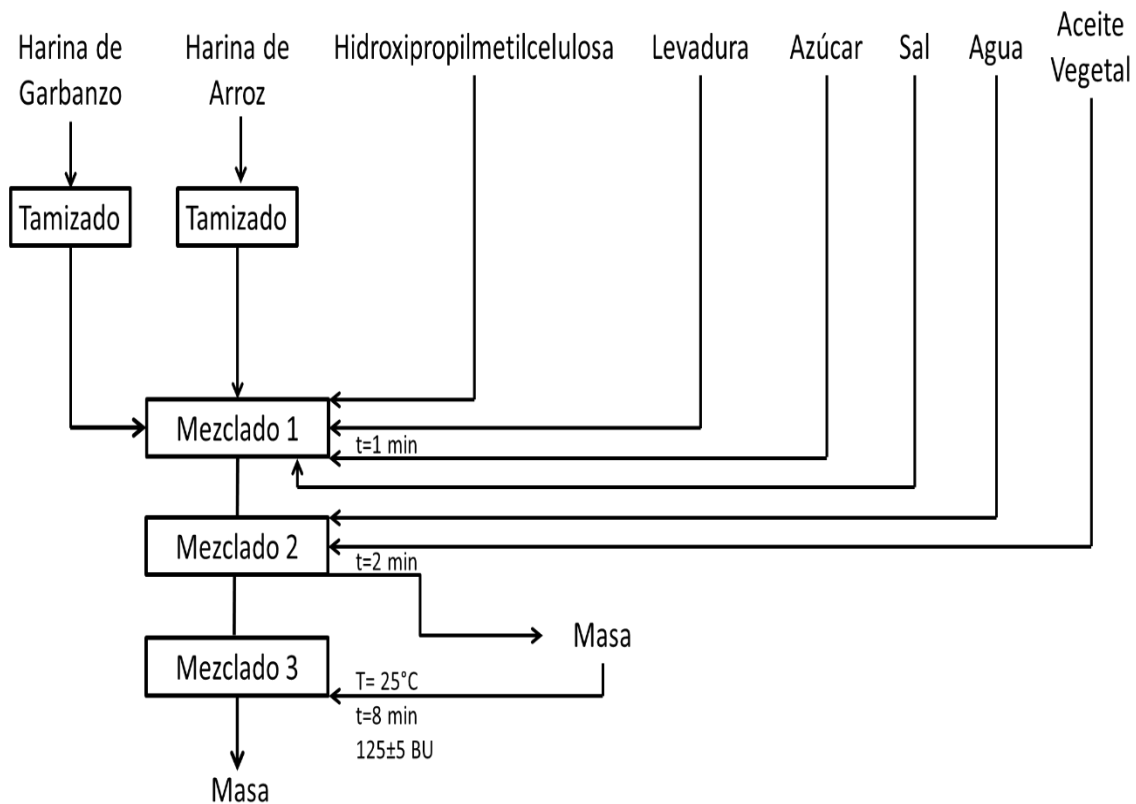


Figura 2.3 Diagrama de proceso para la elaboración de la masa para pan (Kahraman et al., 2018).

En el artículo de Burešová et al. (2017) la masa se preparó a partir de una mezcla de harina de arroz y garbanzo con tres diferentes proporciones 70:30, 50:50 y 70:30 (arroz: garbanzo p/p), agua (100 g), sacarosa (1.86 g), levadura seca activa (1.80 g) y sal (1.50 g). Las cantidades de los ingredientes se relacionaron con 100 g de mezcla de materia seca. Se agregó sacarosa para apoyar la fermentación. La levadura seca se reactivó durante 10 ± 1 min en una solución de azúcar (35 ± 1 °C). Los ingredientes de la masa se colocaron en un tazón mezclador Eta Exclusive Gratus (Eta, A.S. República Checa) y se mezclaron durante 6 min. La masa preparada se agregó en moldes para pan y se colocó en una cámara de fermentación durante 20 min a 30 ± 1 °C y 85% de humedad relativa del aire. Los panes se hornearon durante 20 min a 180 ± 5 °C en un horno con vapor. Se retiraron de los moldes y se almacenaron a temperatura ambiente (22 °C) durante 2 h. Se prepararon tres lotes de 3 muestras para cada harina, así como para la mezcla de harina. El proceso se ejemplifica en la Figura 2.4.

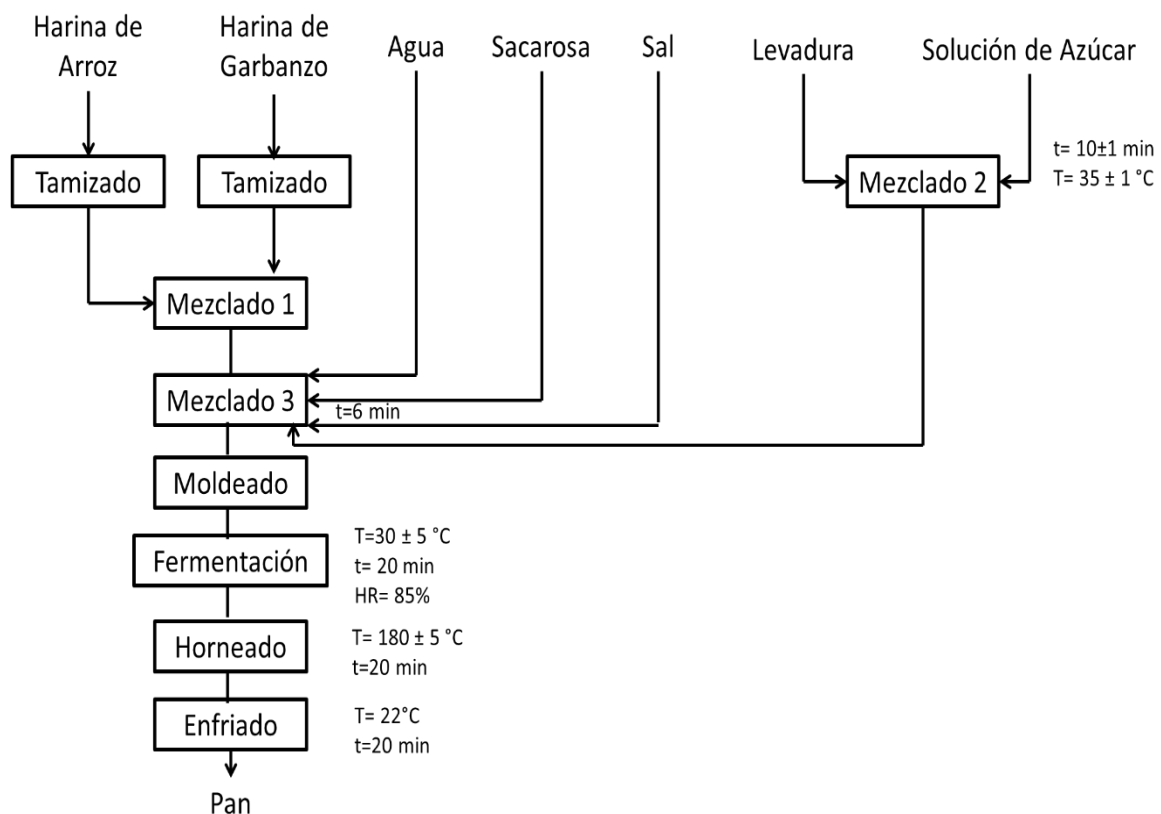


Figura 2.4 Diagrama de proceso de elaboración del pan (Burešová et al., 2017).

Muffin

La masa se preparó en una batidora profesional KPM5 (Kitchen Aid, St. Joseph, MI, EE. UU.), en la que se batió el huevo durante 2 min a la velocidad máxima de rotación (10, 220 rpm) después se añadió la sacarosa y se mezcló durante 30 s. Luego se redujo la velocidad de la batidora a 4, se añadió jugo de limón, la mitad de la leche y se mezcló durante 1 min. Se añadió la mezcla de harina de trigo y garbanzo en diferentes proporciones 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100 (trigo: garbanzo p/p), el bicarbonato de sodio y el cloruro de sodio, la mezcla se batió durante 1 min más. Por último, se aumentó la velocidad de la batidora a 6, se añadió el resto de la leche y se agregó gradualmente el aceite. La mezcla se batió durante 3 min hasta que quedó suave. Cada formulación se preparó al menos seis veces (seis lotes) en días diferentes. Todos los batidos los mantuvieron a 25 °C durante 60 minutos después de la preparación antes de todas las determinaciones. El proceso se ejemplifica en la Figura 2.5 (Álvarez et al., 2017).

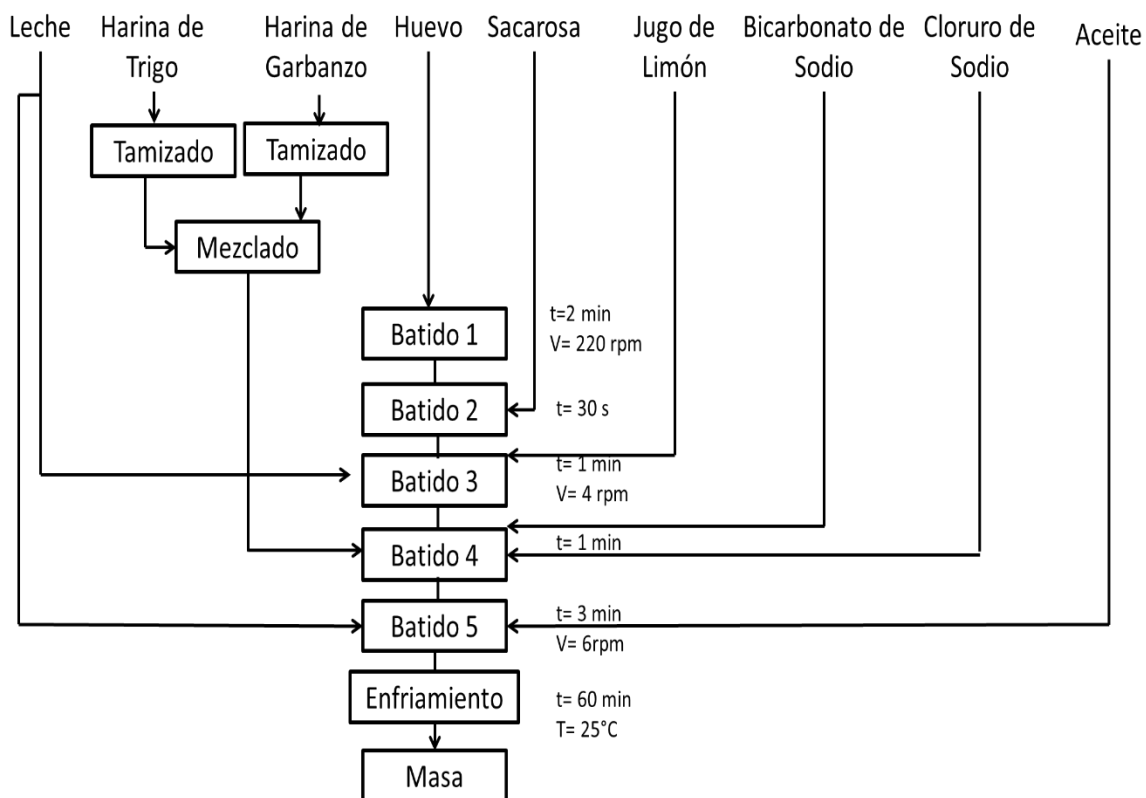


Figura 2.5 Diagrama de proceso de elaboración del *muffin* (Álvarez et al., 2017).

Galleta

Las galletas que se prepararon con harina compuesta de arroz y garbanzo (80:20) harina (100 g), grasa vegetal (24 g), azúcar (45 g), leche desnatada en polvo instantánea (12 g), sal (0.5 g), levadura en polvo (0.5 g) y clara de huevo (10 g). Se añadió azúcar molida (pulverizada en el molino de laboratorio) y leche desnatada en polvo a la harina compuesta de arroz y garbanzo. Los ingredientes se mezclaron con las gomas a dos concentraciones, es decir, 0.5 y 1.0 g / 100 g de harina compuesta, excepto para el control. Las mezclas se agregaron a la grasa vegetal previamente calentada a 45 ° C en el tazón de la batidora del laboratorio (GF-101, Dolar Engineering Industries, Bangalore, India) y se mezclaron a 400 rpm durante 7-8 min y 600 rpm durante 4–5 min hasta obtener una masa homogénea y no pegajosa. A esto le siguió la adición de polvo de hornear y una pequeña cantidad de agua (8-10 ml). Finalmente, se añadió la clara de huevo y se mezcló bien. Las formulaciones de masa se dejaron reposar durante 10 min. Siguiendo este procedimiento, se prepararon 7 formulaciones de masa, siendo una el control sin goma.

Las formulaciones de masa se laminaron con un espesor nominal de 5.0 mm ajustando la posición del botón en una escala de espesor circular de la laminadora de masa (MS520) y se cortaron usando un molde de 50 mm de diámetro. Se horneó a 180 ° C durante 8 min, se sacó el producto del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente (22 °C). En un día, se preparó y horneó un lote de cada formulación. Un lote estaba compuesto por tres lotes preparados por separado para realizar los análisis por triplicado. Se prepararon entre 12 y 14 galletas en cada lote.

Después de enfriar, las galletas se empaquetaron en bolsas laminadas (hechas de capas de poliéster, nailon, papel de aluminio y polipropileno) que se utilizan comúnmente para el envasado de galletas y se compraron en un mercado local en Lal Chock, Srinagar, India. Se sellaron con calor al vacío (QS 4030SL, Sevana,

Seal-Shrink Combi, Kerala, India). El proceso se ejemplifica en la Figura 2.6 (Hamdani et al., 2020).

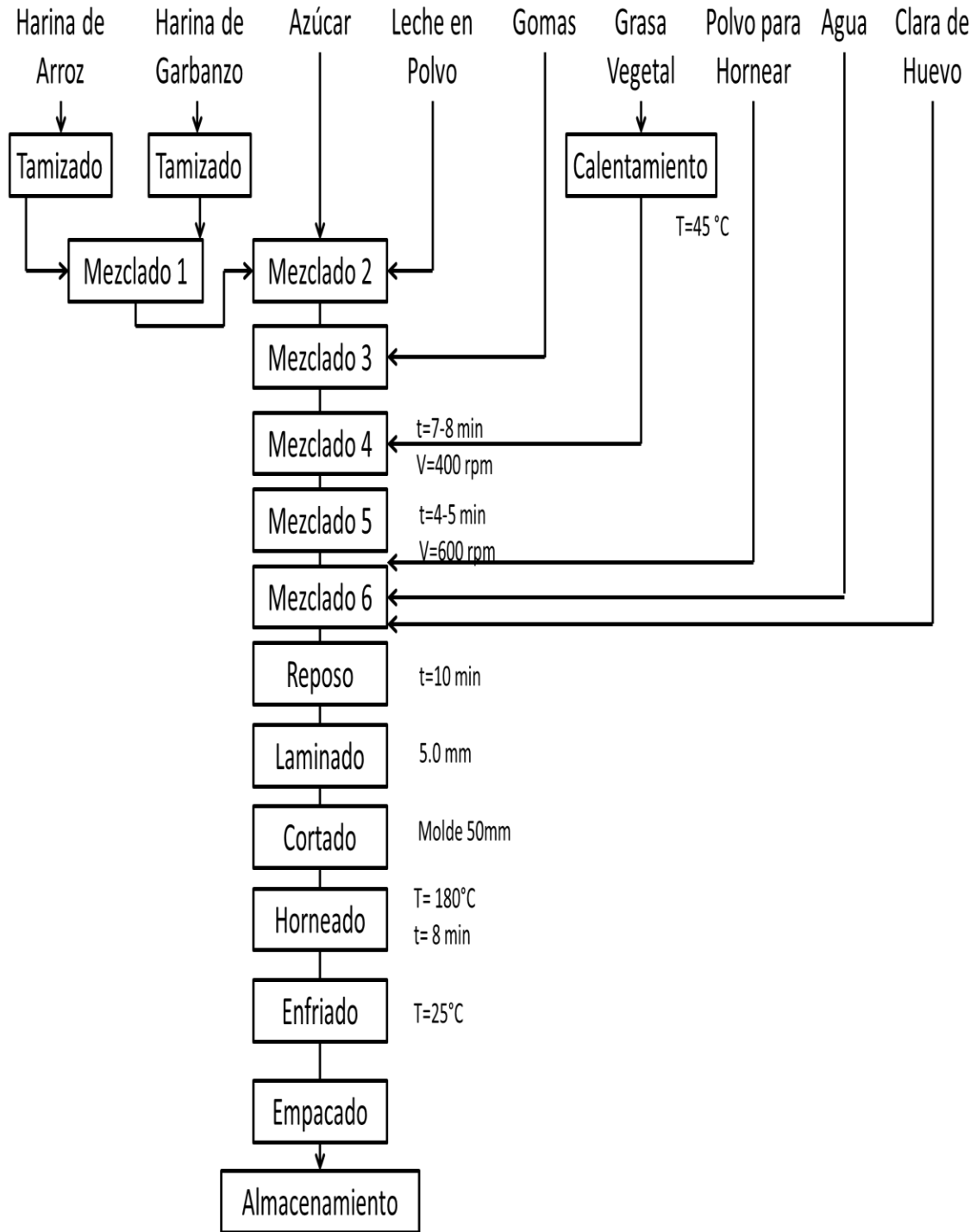


Figura 2.6 Diagrama de proceso de elaboración de galleta (Hamdani et al., 2020).

2.2.3 Métodos

Pan

En el artículo de Mohammed et al. (2012), para cada una de las mezclas de harina de garbanzo y trigo se estudió el estiramiento de la masa utilizando un extensógrafo (Brabender, Duisburg, Alemania) el cual determina las cualidades elásticas de la masa, su capacidad de estiramiento y su resistencia a la extensión. Sobre la base del extensograma registrado, se puede determinar información fiable sobre las propiedades reológicas de la masa y, por lo tanto, los resultados de horneado posteriores (Tecnosa, 2016). En este equipo se aplica una fuerza de forma uniaxial en tensión, donde la consistencia es la resistencia medida como esfuerzo, hasta que haya un rompimiento del material para poder obtener la extensibilidad y resistencia de la masa expresada en unidades arbitrarias; todo esto a una velocidad constante específica. Las mediciones se realizaron de acuerdo con el método ICC 115/1 a temperatura ambiente (25 °C).

El color de la miga y corteza del pan fresco se midieron con un Colorímetro Minolta (CR 200 Japón). Un colorímetro mide la cantidad de luz que atraviesa una solución y la contrasta con la luminosidad entrante; de este modo se da la lectura de la cantidad de luz (Farias, 2019). Por lo que de acuerdo a esto lo que el instrumento puede medir es la diferencia de color entre el patrón y una muestra mediante espacio de color, Δ (XYZ), Δ (Yxy), Δ (L*a*b*), Δ (Hunter Lab), y Δ (L*C*H) como valor por defecto (Konica Minolta, 2013). Las lecturas de color se expresaron mediante valores de triestímulo (Mohammed et al., 2012).

En el artículo de Kahraman et al. (2018) para el comportamiento reológico de la masa se obtuvieron las propiedades viscoelásticas, las cuales se estudiaron mediante pruebas dinámicas oscilatorias en un reómetro Physica MCR300 (Anton Paar, Graz, Austria). En este instrumento se aplica una deformación de cizalla de forma sinusoidal a una frecuencia definida y se mide la respuesta del esfuerzo de cizalla también de forma sinusoidal. El ángulo de desfase (δ) entre ambas curvas permite el cálculo del módulo de almacenamiento (G') el cual se obtiene de la

siguiente ecuación $G' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \cos \delta$ y el módulo de pérdida (G'') mediante $G'' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \sin \delta$. Donde σ_0 es la amplitud del esfuerzo de cizalla medido y γ_0 es la amplitud de la deformación aplicada. De acuerdo con el valor obtenido de la $\tan \delta = \frac{G''}{G'}$ se determina si hay predominio del comportamiento sólido o fluido, por lo que si el valor es menor de 1 hay predominio del comportamiento fluido, si es igual a 1 es un material viscoelástico y si el valor es mayor de 1 predomina el comportamiento sólido (Steffe, 1996). Las medidas se realizaron con placas paralelas (PP25/P2, diámetro: 25 mm) con un espacio entre placas de 2 mm. El barrido de deformación se realizó a una frecuencia constante de 1 Hz en un intervalo de deformación de 0.01 a 100% esto para determinar la deformación máxima a la que las propiedades viscoelásticas son independientes de la deformación (región viscoelástica lineal). De acuerdo con las pruebas, se seleccionó una deformación de 0.04%. Las pruebas de barrido de frecuencia se llevaron a cabo en un intervalo de 10 a 0.1 Hz con una deformación constante del 0.04%.

En el artículo de Burešová et al. (2017) se realizó la prueba utilizando un analizador de textura TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido) equipado con una plataforma (SMS/ Kieffer Dough) y un anillo de extensibilidad para el gluten. Durante la prueba, la muestra de masa se estiró con el gancho hasta que se fracturó. La velocidad de prueba del gancho fue de 3.0 mm/s, la fuerza mínima de detección fue de 5 g. Las propiedades de textura de la miga de pan se midieron realizando un perfil de textura en un analizador de textura TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido). El equipo mide la fuerza necesaria para determinar una compresión o la compresión lograda con una fuerza determinada a una deformación definida (Cauvian, 2004). Se realizó el análisis de perfil de textura en muestras de 35 mm de diámetro y 10 mm de altura obtenidas del centro de cada barra. La muestra se colocó sobre la base del analizador y se comprimió dos veces a 4 mm con un dispositivo cilíndrico de 75 mm de diámetro (P/75). La velocidad de prueba fue de 1.00 mm/s. El texturómetro lleva a cabo una

compresión que logra utilizando placas paralelas, donde hay una placa que esta fija y la otra realiza un movimiento lineal cíclico. Debido a que esta prueba pretende reflejar la percepción humana de la textura, el primero y segundo ciclo de compresión hace referencia al primer y segundo mordisco, respectivamente. En la Figura 2.7 se ilustra una curva generalizada del perfil de textura.

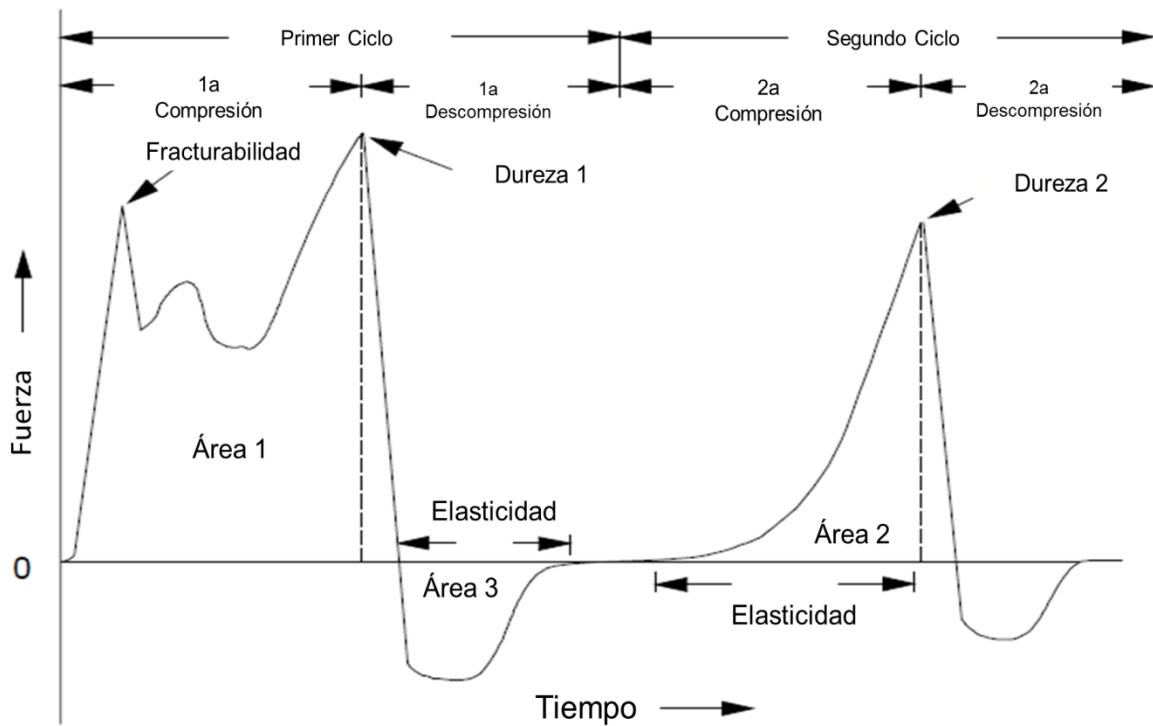


Figura 2.7 Curva generalizada de perfil de textura (Steffe, 1996).

A partir de esta curva se pueden determinar varios parámetros texturales, como fractura que es la primera caída de fuerza que se muestra al inicio de la curva del área 1, dureza que es la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión, adhesividad que representa el trabajo necesario para separar los alimentos de las placas de compresión (Área 3), fuerza adhesiva que es la fuerza negativa máxima, elasticidad que es la distancia o duración del segundo ciclo de compresión y se obtiene de la relación de la longitud 2 dividida entre la longitud 1, cohesividad que es la relación del Área 2 dividida entre el Área 1, gomosidad es el producto de la dureza por la cohesividad y se refiere solamente a alimentos semisólidos y la masticosidad es el producto de la gomosidad por la elasticidad y se refiere únicamente a alimentos sólidos (Steffe, 1996).

Para la porosidad de la miga del pan, las imágenes se guardaron como archivos de mapa de bits, con una resolución de 300 DPI en formato de color real (RGB, 256 millones de colores). Luego, las imágenes se recortaron a una resolución de 420 X 420 píxeles. Las imágenes recortadas se duplicaron y una de cada una se convirtió en una imagen en escala de grises de 8 bits. Las imágenes en escala de grises se midieron con el software Paint Shop Pro (Corel Corporation, Canadá), que permitió la conversión de las imágenes a blanco y negro. El número de poros por imagen se calculó utilizando la herramienta de histograma en Paint Shop Pro (Burešová et al., 2017).

Muffin

Las propiedades reológicas de la masa se obtuvieron con un reómetro rotacional Kinexus pro (Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, Reino Unido) utilizando cizalla oscilatoria. Con una geometría de placas paralelas (40 mm de diámetro y 1 mm de separación). Para determinar la región viscoelástica, se realizaron barridos de esfuerzo de cizalla de 0.01 a 100 Pa a frecuencia de 1 Hz (6.28 rad/s). Se ejecutaron barridos de frecuencia de 0.01 a 10 Hz. La deformación se mantuvo constante dentro del intervalo de viscoelasticidad lineal, 0.13 Pa para 100% de harina de trigo, 0.08 Pa para 25% de harina de garbanzo, 0.09 Pa para 50% de harina de garbanzo, 0.10 Pa para 75% de harina de garbanzo y 0.16 Pa para 100% de harina de garbanzo. Las pruebas de barrido de temperatura se realizaron de 25 a 125 °C a una velocidad de calentamiento lineal de 1.68 °C/min. La frecuencia de oscilación se fijó en 1 Hz, pero manteniendo 2.98 Pa. Para este esfuerzo de cizalla la deformación correspondiente fue superior al 0.1%, por lo que los barridos de temperatura estuvieron fuera del intervalo de viscoelasticidad lineal.

También se midió la viscosidad de la masa en el mismo reómetro, sin embargo, el principio de funcionamiento cambia, en éste, el fluido que está confinado entre las placas paralelas fluye de acuerdo con la velocidad que presenta la placa superior, la cual va a rotar a una velocidad (rpm) dada transfiriendo cantidad de movimiento

a través del fluido hacia la placa fija (Martínez-Padilla, 2012). Todas las capas del líquido se van a desplazar en forma de láminas presentando un gradiente de velocidad proporcional a la viscosidad del fluido que se da por que la lámina inmediatamente adyacente a la placa superior se desplaza a la velocidad de dicha placa, la lámina que le sigue hacia abajo se mueve a una velocidad menor, y cada una de ellas tiene una velocidad un poco menor que la anterior. La viscosidad se obtiene con la relación del esfuerzo de cizalla entre la velocidad de cizalla. La velocidad de cizalla, $\dot{\gamma}$, se calcula con la velocidad rotacional y un factor que depende de las dimensiones de la placa; el esfuerzo de cizalla, σ , se obtiene con el par de torsión medido y un factor que también depende de las dimensiones de la placa (Steffe, 1996). Los fluidos se dividen en newtonianos y no newtonianos, estos se ajustan a modelos para determinar su comportamiento, en este caso utilizaron dos modelos que permiten caracterizar el flujo de los fluidos plásticos donde para valores del esfuerzo superiores al del umbral de fluencia o esfuerzo de cedencia (σ_0), disminuye la viscosidad al incrementar la velocidad de cizalla, presentando carácter no newtoniano tipo potencia, Herschel-Bulkley ($\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n$) y Casson ($\sigma^{1/2} = \sigma_0^{1/2} + k_c(\dot{\gamma})^{1/2}$). Donde k y n son los parámetros del modelo de la potencia y k_c la viscosidad del modelo de Casson. Las masas se sometieron a una velocidad de cizalla de 0.1 1/s durante 30 s en la primera etapa. Luego, para la segunda etapa, se aplicó una velocidad de cizalla de 100 1/s durante 30 s con el fin de provocar una ruptura en la estructura. En la tercera etapa, la velocidad de cizalla se redujo a 0.1 1/s y se midió la recuperación de la viscosidad durante 600 s. Se calculó la recuperación de viscosidad al final del ensayo, a partir de la viscosidad inicial (η_0) y final (η_f). Tanto la recuperación de viscosidad como los tiempos necesarios en la tercera etapa se utilizaron para lograr la reconstrucción de la viscosidad al 90% del valor original, donde se consideraron medidas fiables de la viscosidad dependiendo del tiempo de cada masa.

El color de la masa para *muffin* se midió con un medidor de diferencia de color Hunter-Lab modelo D25 (Reston, VA, EE.UU.) equipado con una abertura de 5 cm de diámetro (Álvarez et al., 2017).

Galleta

La reología de la masa de las diferentes formulaciones estudiadas se midió usando un reómetro, bajo pruebas dinámicas (MCR102, AntonPaar, Graz, Austria). Para el barrido de velocidad angular se emplearon valores de 0.1 a 100 rad/s. Se usó una geometría de placa paralela a 25 °C con una deformación constante de 0.5% que se encontraba en el intervalo de viscoelasticidad lineal.

El color de la superficie de las galletas la determinaron midiendo los valores de L* (luminosidad), a* (enrojecimiento) y b* (amarillez) utilizando un espectrocolorímetro Color Flex (Hunter Lab Colorimeter D-25, Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, EE. UU.).

La textura de las galletas se analizó en un TA.XT2i Plus, Texture Analyzer (S.N.4650, TEE versión 2.64, Stable MicroSystems, Godalming, Reino Unido) con el dispositivo de tres puntos de apoyo. Se colocó cada galleta en los puntos de apoyo, las cuales estaban separadas por una distancia de 40 mm. La plataforma en la parte superior bajó desde una distancia de 30 mm con una velocidad de prueba previa de 1 mm/s, una velocidad de prueba de 2 mm/s y una velocidad de prueba posterior de 10 mm/s utilizando una fuerza de disparo de 25 g. El movimiento descendente se continuó hasta que se rompió la galleta. Se llevaron a cabo estudios de vida útil de las muestras de galletas durante 9 meses. Los análisis se realizaron cada 3 meses para determinar el efecto del almacenamiento sobre diferentes atributos que incluyen color, textura, actividad antioxidante y análisis sensorial (Hamdani et al., 2020).

2.3 Análisis estadístico

Pan

En el artículo de Mohammed et al. (2012) el análisis de varianza (ANOVA) se llevó a cabo utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System versión. 9.1). Cuando el efecto del factor de tratamiento se encontró significativo ($p < 0.05$), las diferencias entre las medias respectivas se determinaron usando la diferencia

mínima significativa (LSD). Se reportó la media \pm desviación estándar de tres repeticiones.

En el artículo de Kahraman et al. (2018) la evaluación estadística de los datos se realizó mediante un programa estadístico (Minitab 16, Minitab Inc., EE. UU.). Los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar. La significancia de los datos se probó mediante análisis de varianza y un nivel de significancia $p < 0.05$ y, en los modelos significativos, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al intervalo de confianza del 95%.

Para el artículo de Burešová et al. (2017) los resultados se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza. Las diferencias se probaron en un nivel de significancia de 0.05 usando la prueba Fisher LSD. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statistica CZ9.1 (StatSoft, CR, Ltd, EE.UU.).

Muffin

Para cada propiedad o parámetro evaluado, se realizó un análisis de varianza unidireccional utilizando el programa SPSSVR Statistics 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Se utilizó el procedimiento de comparación múltiple de Bonferroni para evaluar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre batidos (Álvarez et al., 2017).

Galleta

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico para las ciencias sociales (versión 16.0, SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.) y las diferencias se midieron utilizando la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 5% (Hamdani et al., 2020).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Pan

3.1.1 Propiedades mecánicas de masas de mezclas de harina de trigo con harina de garbanzo

Textura por extensógrafo de las masas para pan

El efecto de la adición de harina de garbanzo para las características extensográficas de la masa de harina de trigo, fueron evaluadas en un período de reposo de 45, 90 y 135 min (Cuadro 3.1) (Mohammed et al., 2012). Las pruebas a la masa de harina de garbanzo no se realizaron ya que no se formó una red homogénea.

La extensibilidad (E_x) es un indicador de las características de procesamiento de la masa, que después de 45, 90 y 135 min se redujo con la adición de garbanzo (170-84 mm), esto comparando con la masa control que es la que contiene solamente trigo. Así mismo, la resistencia inicial a la deformación (R_{50}) disminuyó, al aumentar el nivel de sustitución del 10 al 30% de garbanzo.

La masa control presentó mayor resistencia (515 BU) después de un tiempo de reposo de 90 minutos con un aumento notable al final del período de relajación (560 BU). Por el contrario, la resistencia de las muestras de masa que contienen garbanzo aumentó continuamente con el tiempo (310-520 BU), mostrando la mayor resistencia después de 135 min con 10% de harina de garbanzo. El parámetro R_{50} predice las propiedades de manipulación de la masa y la tolerancia

a la fermentación. Como resultado, el aumento en el valor de este parámetro promovido por la adición de garbanzo sugiere la formación de masas poco manejables y una pequeña tolerancia de la masa en la etapa de fermentación.

Cuadro 3.1 Parámetros del extensograma de harina de trigo, harina de garbanzo y sus mezclas (Mohammed et al., 2012).

Muestra	Harina de Trigo (%)	Harina de Garbanzo (%)	Tiempo de reposo 45 min			
			E_x (mm)	R_{50} (BU)	E^a (cm ²)	R_{50}/E_x
	100	0	170±16	460±23	127±7	2.7±0.11
	90	10	150±9	440±20	104±4	2.9±0.13
	80	20	131±6	340±13	97±12	2.6±0.21
	70	30	115±11	310±10	53±2	2.2±0.06
	0	100	-	-	-	-

Muestra	Harina de Trigo (%)	Harina de Garbanzo (%)	Tiempo de reposo 90 min			
			E_x (mm)	R_{50} (BU)	E^a (cm ²)	R_{50}/E_x
	100	0	145±6	515±31	132±6	3.6±0.13
	90	10	134±9	470±23	106±9	3.5±0.08
	80	20	125±3	375±14	76±10	3.0±0.12
	70	30	89±8	400±25	54±7	4.5±0.28
	0	100	-	-	-	-

Muestra	Harina de Trigo (%)	Harina de Garbanzo (%)	Tiempo de reposo 135 min			
			E_x (mm)	R_{50} (BU)	E^a (cm ²)	R_{50}/E_x
	100	0	135±10	560±36	138±13	4.2±0.18
	90	10	124±2	520±22	114±10	4.2±0.16
	80	20	115±1	440±19	70±5	3.8±0.03
	70	30	84±4	445±29	58±9	5.3±0.20
	0	100	-	-	-	-

Los valores de R_{50} se aproximan a los del control (460-560 BU), cuando se añadió un 10% de garbanzo (440-520 BU). El valor de la relación R_{50}/E_x aumentó (2.7-5.3) a medida que aumentaba el nivel de sustitución del garbanzo y parece ser más pronunciado después de 90 minutos de tiempo de reposo (3.6-5.3), lo que indica una masa menos extensible. Para las mezclas de harina de garbanzo al

30%, los datos mostraron que la masa resultante se volvió muy débil, la estabilidad disminuyó y el grado de ablandamiento aumentó. Además, la resistencia a la extensión (E^a) también disminuyó con el aumento de la harina de garbanzo y después del tiempo de reposo. Este efecto puede verse acentuado por la presencia en la harina de garbanzo de enzimas indeseables, como la proteasa y α -amilasa siendo ambos modificadores de proteínas y almidón (Wood y Grusak, 2007) o constituyentes que interactúan fuertemente con las proteínas del gluten y por lo tanto inhiben el desarrollo de propiedades reológicas deseables.

3.1.2 Color de corteza y de miga de panes con mezclas de harina de trigo y harina de garbanzo

La manipulación de la masa no se vio afectada a niveles bajos de sustitución, pero más allá del 20% de sustitución con harina de garbanzo, la masa se volvió pegajosa y difícil de procesar. La superficie de la masa de trigo y la mezcla con un 10% se clasificó de "normal" a "todavía normal" (Mohammed et al., 2012). La mezcla con 20% y 30% se describió como "algo pegajosa" y "pegajosa" (Figura 3.1).

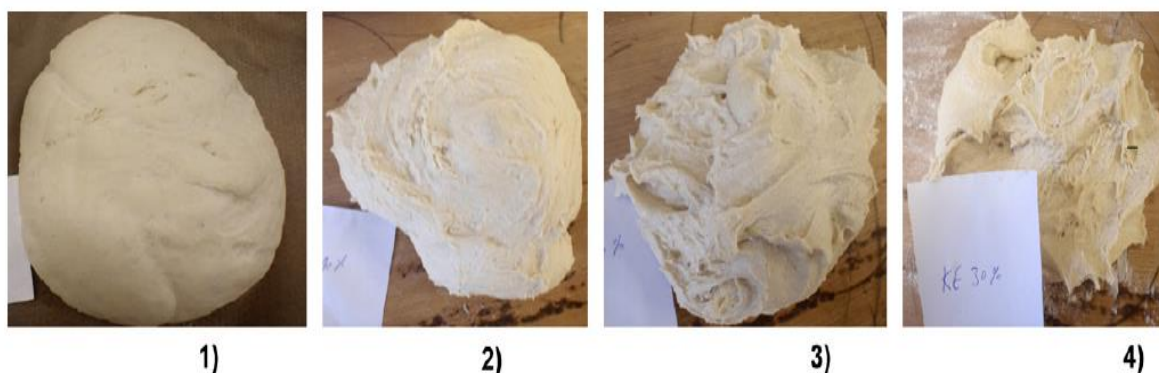


Figura 3.1 Características de la superficie de la masa en diferentes proporciones trigo: garbanzo. (1) 100:0; (2) 90:10; (3) 80:20; (4) 70:30 (Mohammed et al., 2012).

El efecto de la adición de garbanzo sobre las características del pan fresco se enfocó en el color tanto de la miga como del pan donde todos los datos se

expresaron mediante los valores de Hunter L*, a* y b* correspondientes a la claridad, enrojecimiento y el amarilleamiento, respectivamente. El color de la corteza de las muestras se vio afectado por la sustitución de la harina de trigo por harina de garbanzo (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Color de la corteza y de la miga del pan control (100% harina de trigo) y el pan con harina compuesta de trigo-garbanzo, \pm desviación estándar (Mohammed et al., 2012).

Harina de trigo: harina de garbanzo (%)	Color de la corteza			Color de la miga		
	L	a*	b*	L	a*	b*
100:0	98.14 \pm 0.91	0.27 \pm 0.09	2.64 \pm 1.41	96.94 \pm 2.00	0.23 \pm 0.11	0.87 \pm 0.56
90:10	87.37 \pm 5.50	3.67 \pm 1.30	4.54 \pm 0.83	93.80 \pm 2.03	0.29 \pm 0.06	1.85 \pm 0.53
80:20	78.08 \pm 1.86	6.23 \pm 0.40	5.64 \pm 0.87	91.72 \pm 2.35	0.89 \pm 0.28	8.03 \pm 0.39
70:30	74.14 \pm 0.96	7.05 \pm 0.39	6.86 \pm 1.85	89.94 \pm 1.79	0.91 \pm 0.13	11.59 \pm 2.97

En general, a medida que aumentaba el nivel de harina de garbanzo, el color de la corteza se oscurecía según lo medido por el colorímetro. La corteza del control era más clara y menos amarilla que cualquier otra muestra. Para el color de la miga, a medida que aumentaba el nivel de harina de garbanzo, los valores a* y b* aumentaban de 0.23-0.91 y de 0.87-11.59, respectivamente, lo que indica que se obtuvo una miga más roja y amarilla como resultado de la sustitución de la harina de garbanzo.

El oscurecimiento del pan que contiene garbanzo podría atribuirse a un aumento de la reacción de Maillard que tiene lugar durante el horneado debido al mayor contenido de lisina. En la reacción de Maillard, los carbohidratos reductores reaccionan con la cadena de aminoácidos libres de la proteína, principalmente la lisina, que con su grupo amino en posición épsilon es la más activa dando lugar a reacciones de aminoácidos-glucosa (Mohammed et al., 2012).

El color del pan con harina de trigo era marrón claro, que aumentaba significativamente al aumentar el nivel de sustitución. Los panes similares al control se obtuvieron con la sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo al 10% (Figura 3.2) (Mohammed et al., 2012).

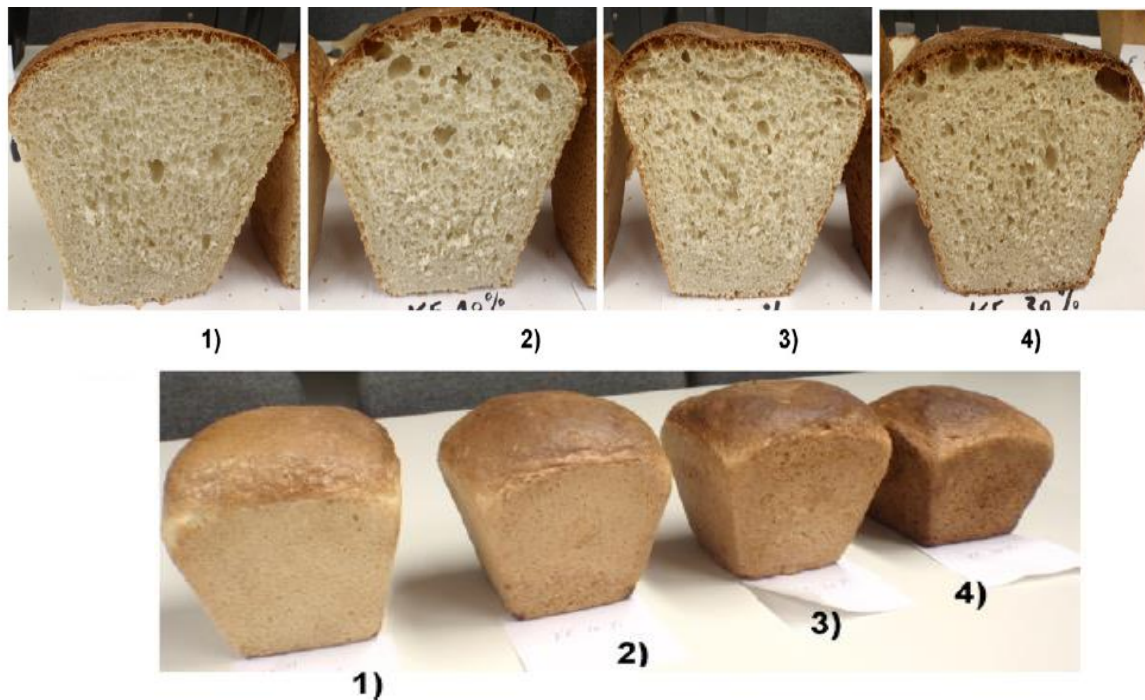


Figura 3.2 Color de la miga y corteza del pan en diferentes proporciones trigo: garbanzo. (1) 100:0; (2) 90:10; (3) 80:20; (4) 70:30 (Mohammed et al., 2012).

3.1.3 Propiedades viscoelásticas de las masas con harina de garbanzo y arroz

La prueba de barrido de deformación se realizó en primer lugar para determinar la región viscoelástica lineal con el fin de definir cuándo las características de la masa no dependen de la magnitud de la deformación. Para todas las muestras, G' y G'' permanecieron casi constantes al menos hasta un 0.04% de deformación (datos no mostrados). Más allá de este límite, los módulos de almacenamiento y pérdida disminuyeron, indicando una destrucción progresiva de la estructura de la masa (Kahraman et al., 2018).

De acuerdo con la región viscoelástica lineal, la prueba de barrido de frecuencia se realizó a una deformación constante de 0.04%, en el intervalo de 10 a 0.1 Hz. Las curvas de barrido de frecuencia se muestran en la Figura. 3.3.

Aunque todas las muestras de masa tenían la misma consistencia farinográfica final (125 ± 5 BU), diferían en términos de propiedades reológicas fundamentales, la adición de harina de garbanzo a las formulaciones de masa de arroz provocó un aumento tanto en G' como en G'' . En particular, las harinas de garbanzo y garbanzo descascarado mostraron los valores más altos en el intervalo de frecuencia estudiado, sin embargo, la harina de garbanzo tostado tuvo un comportamiento intermedio en comparación con la de arroz y la de garbanzo.

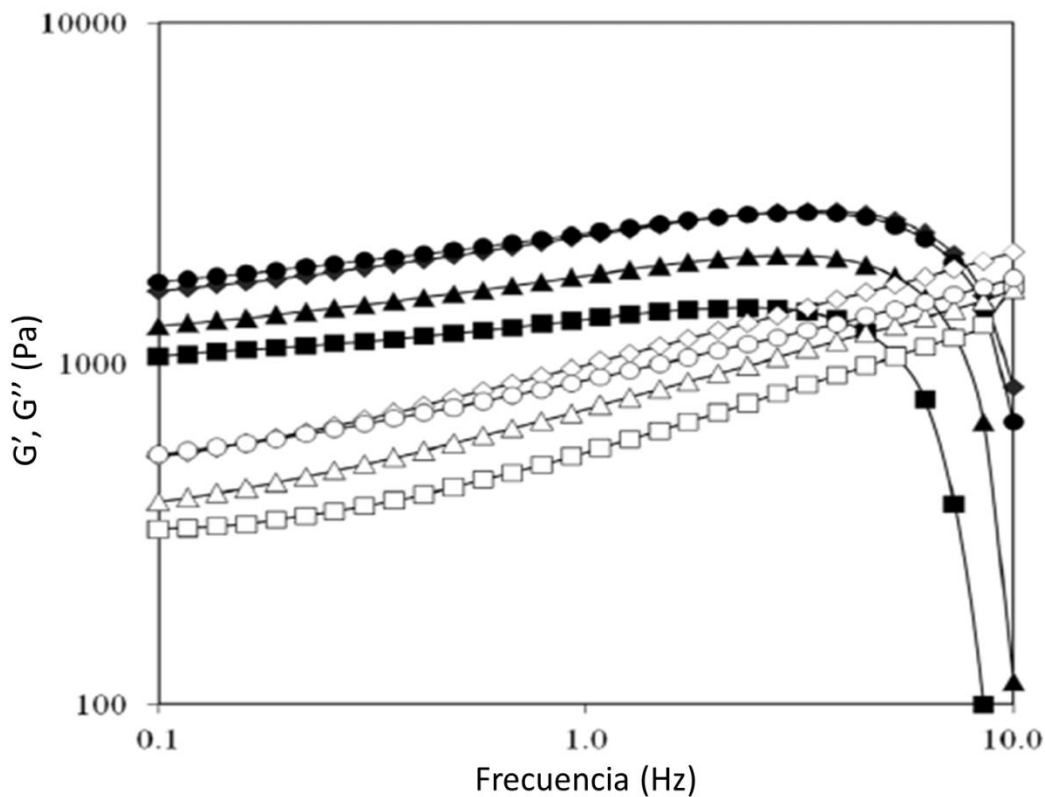


Figura 3.3 Propiedades viscoelásticas de la masa: barrido de frecuencia. Harina de arroz (■), harina de garbanzo (◆), harina de garbanzo tostado (▲), harina de garbanzo descascarado (●). Módulo de almacenamiento (G' , símbolos llenos), módulo de pérdida (G'' , símbolos vacíos) (Kahraman et al., 2018).

La $\tan \delta$ fue inferior a 1 en todas las frecuencias, lo que indica que mantiene un comportamiento similar al sólido y se vio ligeramente afectado por la adición de harina de garbanzo, ya que se mantuvo constante para todas las formulaciones; en particular se obtuvieron valores de 0.41 ± 0.02 , 0.41 ± 0.02 , 0.42 ± 0.02 , 0.37 ± 0.01 para las harinas de arroz, garbanzo tostado + arroz, garbanzo + arroz y arroz + garbanzo descascarado, respectivamente, a 1 Hz.

3.1.4 Pruebas mecánicas a las masas con arroz, trigo y garbanzo

Prueba de elongación uniaxial

Se determinaron las propiedades mecánicas de las masas de trigo, garbanzo, arroz y sus mezclas (Cuadro 3.3). Donde la adición de harinas libres de gluten disminuyó significativamente el esfuerzo de elongación máximo (fractura) de la masa de arroz, de 12.3 kPa a 3.3 kPa. La mezcla más débil fue a la que se le añadió harina de garbanzo con harina de arroz presentando valores de σ_M que variaron de 3.3 a 3.6 kPa (Burešová et al., 2017).

Cuadro 3.3 Comportamiento de la masas simples libres de gluten y compuestas bajo deformación uniaxial. Donde σ_M es el esfuerzo de elongación máximo y ε_{HM} la deformación relativa en el momento de la ruptura de la masa. Diferentes letras en la columna sugieren una diferencia significativa ($p < 0.05$) (Burešová et al., 2017).

Harina/ Mezcla de harina	σ_M (kPa)	ε_{HM} (-)
Trigo	4.5 ± 0.2^c	0.768 ± 0.007^a
Garbanzo	6.3 ± 0.5^d	0.690 ± 0.009^a
Arroz	12.3 ± 0.5^e	0.772 ± 0.003^a
Arroz 30/Trigo 70	5.5 ± 0.3^d	0.727 ± 0.004^a
Arroz 50/Trigo 50	5.5 ± 0.4^d	0.726 ± 0.002^a
Arroz 70/Trigo 30	6.2 ± 0.4^d	0.723 ± 0.002^a
Arroz 30/Garbanzo 70	3.3 ± 0.3^b	0.728 ± 0.005^a
Arroz 50/Garbanzo 50	3.5 ± 0.2^{bc}	0.730 ± 0.005^a
Arroz 70/Garbanzo 30	3.6 ± 0.2^{bc}	0.730 ± 0.002^a

Las masas que únicamente se prepararon con trigo, garbanzo y arroz presentaron diferencias significativas en los valores obtenidos del esfuerzo de elongación, mientras que, al mezclar harina de arroz con harina de trigo, no se observaron diferencias significativas entre estas, al igual que con la mezcla de arroz y garbanzo. Sin embargo, si se comparan las masas compuestas de mezclas con las que solamente se realizaron con una harina, estas presentan diferencias significativas.

Por lo tanto, las masas compuestas de mezclas mantuvieron la capacidad de la masa de arroz para extenderse, pero el esfuerzo requerido para la deformación de la masa se redujo significativamente (6.2-3.3 kPa), sin embargo, la deformación relativa no mostró diferencias significativas, ya que en las mezclas a pesar de que disminuyeron los valores (0.73-0.72), estos se acercan a la masa que solamente contiene harina de trigo.

Debido al alto esfuerzo y deformación que se aplica durante la ruptura de la masa, que generalmente se relaciona con la masa adecuada para hacer pan, los resultados pueden indicar el efecto decreciente de la adición de harinas libres de gluten sobre la calidad de panificación de la masa de arroz. Se sabe que el comportamiento de la masa durante la deformación uniaxial se ve afectado por la red de proteínas y polisacáridos en la masa. Antes de la deformación, los segmentos de la red se unen mediante numerosos enlaces intermoleculares e intramoleculares débiles. Al aplicar un esfuerzo los límites de la red se rompen, se extienden y se produce un deslizamiento. La red finalmente falla cuando los hilos alcanzan su extensión completa. El debilitamiento de la masa compuesta puede, por tanto, explicarse por los cambios en la creación de redes en las masas compuestas. La presencia de proteínas y polisacáridos de dos orígenes botánicos probablemente resultó en una unión débil de cadenas; el grado de deslizamiento, sin embargo, se mantuvo casi igual (Burešová et al., 2017).

3.1.5 Perfil de textura de los panes con arroz, trigo y garbanzo

El impacto de las diferentes harinas sobre las características del pan fue analizado con un perfil de textura en donde se le realizaron pruebas tanto al pan de harina de trigo, garbanzo y arroz como a las mezclas (Cuadro 3.4) (Burešová et al., 2017). Se observa que, en cuanto a la dureza, el pan de garbanzo presentó el valor más alto de 35 N, lo que indica que para fracturarlo este necesitó más fuerza en comparación con el de arroz que presentó un valor de 21 N visualizando que hay diferencias significativas. Con las mezclas se obtuvo que la de arroz y trigo presentaron los valores más bajos de 19 y 20 N siendo estos los panes más blandos. Mientras que la mezcla de arroz y garbanzo resultó con valores de 30 y 31 N, por lo que se puede decir que estos tienen una mayor dureza siendo similar o igual al pan de trigo porque estadísticamente no tienen diferencias significativas, observando de esta forma que la harina de garbanzo ayuda en la dureza del pan con harinas libres de gluten.

Cuadro 3.4 Características de textura (dureza, elasticidad, cohesión, resiliencia y masticosidad) del pan de arroz sin gluten y compuesto (n=3). Diferentes letras en la columna sugieren una diferencia significativa ($p < 0.05$) (Burešová et al., 2017).

Harina/ Mezcla de harina	Dureza (N)	Elasticidad (%)	Cohesividad (%)	Resiliencia (%)	Masticosidad (N)
Trigo	30 ^e	85 ^d	75 ^g	49 ^{fg}	1900 ^g
Garbanzo	35 ^f	79 ^{ab}	59 ^c	35 ^c	1600 ^f
Arroz	21 ^d	75 ^a	63 ^d	41 ^e	1000 ^c
Arroz 30/ Trigo 70	20 ^d	86 ^{de}	74 ^{fg}	47 ^f	1300 ^{de}
Arroz 50/ Trigo 50	19 ^d	87 ^e	74 ^{fg}	49 ^{fg}	1100 ^{cd}
Arroz 70/ Trigo 30	20 ^d	87 ^e	73 ^f	47 ^f	1000 ^c
Arroz 30/ Garbanzo 70	30 ^e	80 ^{bc}	63 ^d	38 ^d	1000 ^c
Arroz 50/ Garbanzo 50	31 ^e	79 ^b	63 ^d	30 ^b	1400 ^e
Arroz 70/ Garbanzo 30	31 ^e	77 ^a	67 ^e	38 ^d	1600 ^f

Para la elasticidad se puede observar que el pan con harina de trigo tiene una elasticidad de 85%, sin embargo, en el del garbanzo y arroz no hay diferencias significativas. Para las mezclas si hubo una diferencia significativa ya que son las del trigo las que presentan el valor más alto (87%) en comparación con las otras mezclas siendo la del garbanzo los valores más bajos (79-77%). En cuanto a la cohesividad el trigo muestra el valor más alto (75%) y el garbanzo el más bajo (59%), esto se observa de la misma forma en las mezclas donde el garbanzo con arroz manifiesta una estructura interna un poco débil por la falta de gluten. En la resiliencia el trigo es el que tiene el valor más alto (49%) en comparación con la de garbanzo con un valor de 35%, en la mezcla se mantuvo igual con valores para el arroz con trigo de 47 a 49% y para el arroz con garbanzo de 30 a 38% por lo que el pan de trigo tiene una mejor recuperación a la deformación que el pan de garbanzo, esto debido a la red almidón-proteína que se forma. Todo lo anterior se ve reflejado en la masticosidad donde el trigo también presenta el valor más alto (1900 N) y el arroz el valor bajo (1000 N), sin embargo, en las mezclas hubo una disminución del trigo (1300-1000 N) y en el garbanzo aumentó (1000-1600 N).

Cada uno de los valores obtenidos de los diferentes parámetros se debe a que, el trigo contiene gluten lo que le da a la masa propiedades reológicas específicas (viscoelasticidad), y esto a su vez influye en la calidad del producto final. Por lo tanto, durante la sustitución parcial o completa de la harina de trigo se verán afectadas las propiedades texturales, sensoriales de la masa y del producto terminado (Duodu y Minnaar, 2011; Ahmad et al., 2020), a pesar de que las harinas de legumbres, por su contenido de aminoácidos y fibra, son ideales para mejorar el valor nutricional del pan.

3.1.6 Porosidad de la miga del pan con arroz, trigo y garbanzo

Se determinaron las propiedades físicas de la miga del pan (Cuadro 3.5) (Burešová et al., 2017). El pan que tiene una mejor porosidad es el de trigo (57%) a diferencia del pan de arroz que muestra el valor más bajo (45%) visualizando

diferencias significativas, sin embargo, en la mezcla de arroz con garbanzo los valores tuvieron un aumento (58-60%) que comparado con los valores del trigo no muestran una diferencia significativa, por lo que esta mezcla tiene una mejor estructura. La creación de poros está estrechamente relacionada con las propiedades mecánicas de la masa que afectan las propiedades de las celdas de gas. Los núcleos para las celdas de gas en desarrollo se generan durante el mezclado de la masa.

Cuadro 3.5 Porosidad de la miga (apariciencia y color de la corteza y de la miga) del pan (n=50). Diferentes letras en la columna sugieren una diferencia significativa ($p < 0.005$) (Burešová et al., 2017).

Harina/ Mezcla de harina	Porosidad miga (%)	Apariciencia de la corteza y color	Apariciencia de la miga y color
Trigo	57 ^c	7.5 ^b	7.4 ^d
Garbanzo	51 ^b	8.1 ^c	7.2 ^c
Arroz	45 ^a	6.3 ^a	6.3 ^b
Arroz 30/Trigo 70	56 ^b	7.9 ^c	7.9 ^d
Arroz 50/Trigo 50	58 ^c	7.7 ^c	7.9 ^d
Arroz 70/Trigo 30	61 ^c	7.0 ^b	7.4 ^d
Arroz 30/Garbanzo 70	60 ^c	7.4 ^b	7.9 ^d
Arroz 50/Garbanzo 50	59 ^c	7.2 ^b	6.9 ^b
Arroz 70/Garbanzo 30	58 ^c	7.2 ^b	6.9 ^b

El gas que se genera de la levadura se difunde en los núcleos y los núcleos se expanden en las celdas de gas. Durante el calentamiento posterior, las características de las celdas se ven afectadas por la desnaturalización de las proteínas y la gelatinización del almidón. La gelatinización del almidón ocurre por encima de la temperatura de gelatinización, aumentando significativamente la viscosidad de la masa. Los cambios en los poros afectaron la apariciencia en la corteza y miga del pan (Burešová et al., 2017).

En cuanto a la apariciencia de la corteza, el pan de harina con garbanzo tiene la mejor (8.1), sin embargo, la apariciencia de la miga disminuyó (7.2). El pan de arroz tanto en la apariciencia de la corteza como en la miga presentó el valor más bajo (6.3). Para las mezclas el que contenía trigo presento la mejor apariciencia de

corteza y miga (7.9) mientras que la del garbanzo disminuyó (7.4-7.2) mostrando diferencias significativas. Si comparamos la apariencia de la corteza del pan de trigo con la del garbanzo en mezcla con arroz no se observan diferencias significativas al igual que en la apariencia de la miga.

3.2 Muffin

3.2.1 Propiedades viscoelásticas de masas con harina de garbanzo y trigo

Los resultados que se obtuvieron de las pruebas reológicas a la masa se presentan en el Cuadro 3.6 donde se determinaron amplitudes críticas (máximas) de esfuerzo (σ_{max}) y deformación (γ_{max}) y factor de pérdida ($\tan \delta = \frac{G''}{G'}$) para limitar el intervalo viscoelástico lineal (Álvarez et al., 2017).

Cuadro 3.6 Efecto del reemplazo de la harina de trigo sobre las propiedades reológicas y los parámetros cinéticos de las pruebas oscilatorias de la masa del *muffin* (Álvarez et al., 2017).

Parámetros reológicos	Harinas				
	Trigo Control (100%)	Garbanzo (25%)	Garbanzo (50%)	Garbanzo (75%)	Garbanzo (100%)
σ_{max} [Pa]	0.642 ± 0.01 ^d	0.646 ± 0.01 ^b	0.644 ± 0.01 ^c	0.643 ± 0.01 ^{c,d}	0.808 ± 0.00 ^a
γ_{max} [%]	0.63 ± 0.03 ^c	0.96 ± 0.06 ^a	0.81 ± 0.08 ^{a,b}	0.76 ± 0.11 ^{b,c}	0.84 ± 0.03 ^{a,b}
$\tan \delta$ [-]	0.86 ± 0.05 ^b	1.05 ± 0.06 ^a	1.06 ± 0.15 ^a	1.03 ± 0.08 ^{a,b}	1.09 ± 0.03 ^a
T_{gel} [°C]	74.5 ± 4.9 ^{a,b}	79.0 ± 2.0 ^a	79.4 ± 2.9 ^a	78.0 ± 2.3 ^{a,b}	69.5 ± 1.4 ^b

± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras ($n=9$).

Después de reemplazar por completo la harina de trigo (100% garbanzo) hubo un incremento significativo en σ_{max} de 0.642 a 0.808 Pa con respecto al control (100% trigo), γ_{max} también tuvo un incremento significativo conforme fue aumentando el contenido de harina de garbanzo (0.81-0.96%). Los valores de $\tan \delta$ para los batidos que contenían garbanzo tuvieron un valor > 1 evidenciando un predominio del comportamiento fluido dentro de los límites de viscoelasticidad lineal. En cuanto a la temperatura de gelificación hay una disminución (79-69.5 °C)

con respecto a los batidos donde se agregó garbanzo, lo cual indica que necesita una menor temperatura para poder formar el gel.

La dependencia de la frecuencia de G' y G'' en la región lineal a 25 °C para las masas de trigo (100 %) y garbanzo (100%) se muestran en la Figura 3.4.

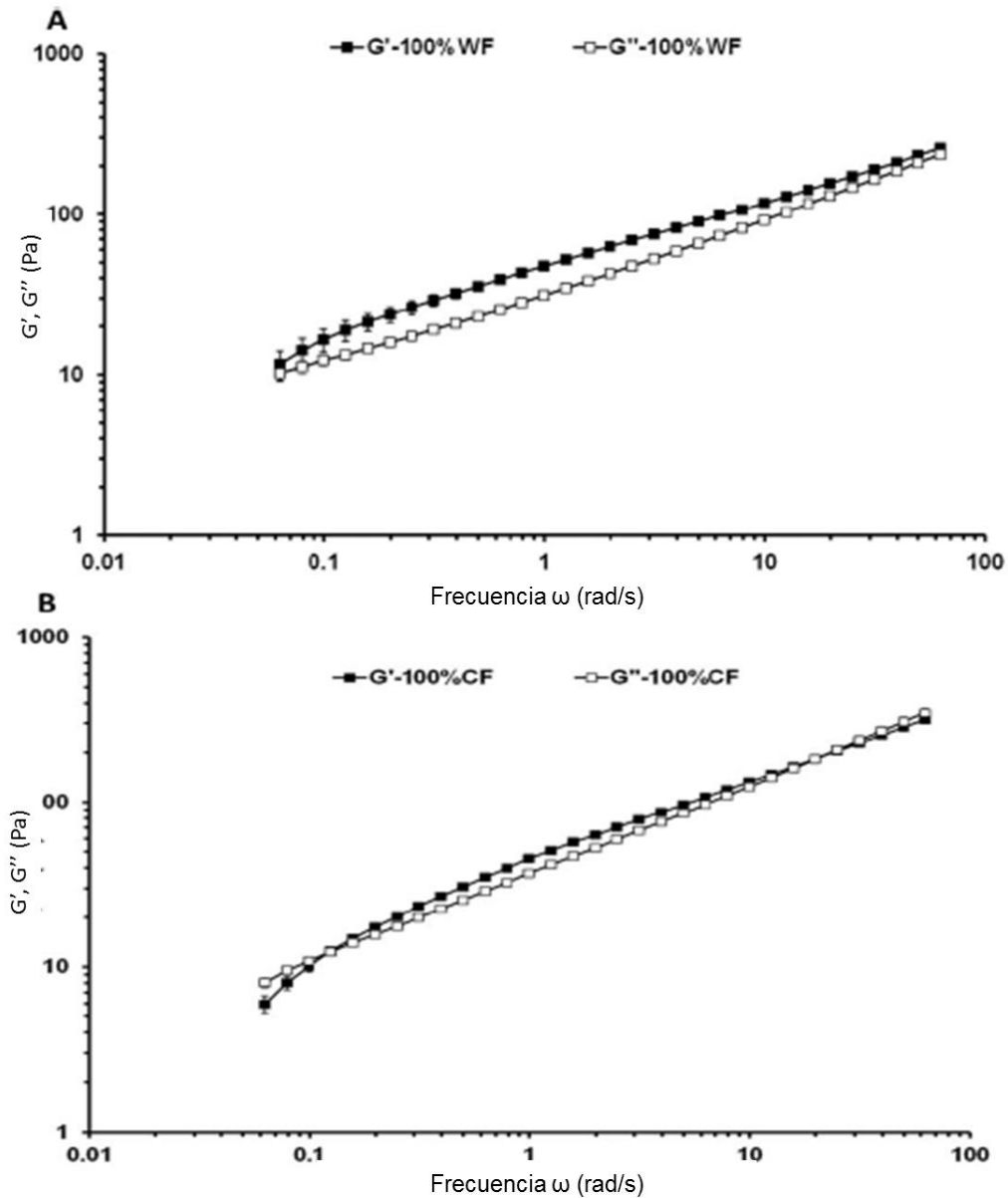


Figura 3.4 Datos de espectro mecánico del batido control, WF (A) y sin gluten a base de harina de garbanzo CF (B). Se reporta la curva promedio de nueve pruebas \pm desviación estándar (Álvarez et al., 2017).

En la Figura 3.4A, la G' del batido control (100% trigo) presentó valores ligeramente más grandes que los de G'' en el intervalo de frecuencias estudiado, mostrando un comportamiento predominantemente elástico. Mientras que en la Figura 3.4B los batidos que contenían garbanzo al 100% y al 75% (resultados no mostrados) tenían dos puntos de cruce, reflejando la complejidad del batido, lo que implica que el comportamiento fue predominantemente más viscoso en las frecuencias bajas y altas.

Por lo tanto, el batido con 100% de harina de trigo se puede caracterizar como un gel blando o débil, mientras que las muestras con reemplazo parcial y total de trigo presentaron una estructura entre las de un biopolímero concentrado y las de un gel débil, comportándose como fluidos viscosos a bajas y altas frecuencias, lo que pueden estar asociado con sus propiedades de formación de espuma. Este resultado evidencia que la masa 100% harina de trigo en comparación con el resto de las muestras con harina de garbanzo añadida, presenta un comportamiento más sólido.

Para comprender los cambios estructurales que se producen en los diferentes batidos para los *muffin* durante el calentamiento, se estudiaron las propiedades viscoelásticas de 25 °C a 125 °C. Además de las propiedades de los batidos, los cambios estructurales que ocurren durante el horneado también son factores determinantes en la formación de las burbujas y estructura así como de la textura del producto final. El efecto de la reducción de harina de trigo (0, 50 y 100%) se presenta en la Figura 3.5A que muestra el módulo elástico durante el calentamiento. A su vez, la Figura 3.5B muestra la $\tan \delta$ en función del aumento de temperatura para los mismo batidos. Se observaron patrones de calentamiento similares en los batidos con 25% y 75% de harina de garbanzo (resultados no mostrados). La reducción de trigo provocó que disminuyeran los valores iniciales de G' y la viscoelasticidad (los valores de la $\tan \delta$ aumentaron), lo que significa que la presencia de solo trigo también aumentó las propiedades dinámicas del

sistema del batido. A 25 °C la $\tan \delta$ fue de 1.1 para el batido control, 1.5 para 25 % garbanzo, 1.6 para el 50 % de garbanzo y 1.7 para el 100 % de garbanzo.

La presencia de almidón de garbanzo o de proteína produjo cambios en las forma de las curvas de calentamiento que se han asociado con los procesos de gelatinización del almidón y coagulación de proteínas. En todas las masas, el aumento inicial de temperatura produjo una disminución en los valores de G' (Fig. 3.5A) asociada con un aumento en los valores de $\tan \delta$ (Fig. 3.5B). En las muestras de 100% trigo y 100% garbanzo, los valores G' disminuyeron con la temperatura hasta aproximadamente 50 y 45 °C, respectivamente. En el caso de los batidos que contienen ambos tipos de harina, los valores de G' disminuyeron considerablemente entre 25 °C y aproximadamente 60 °C.

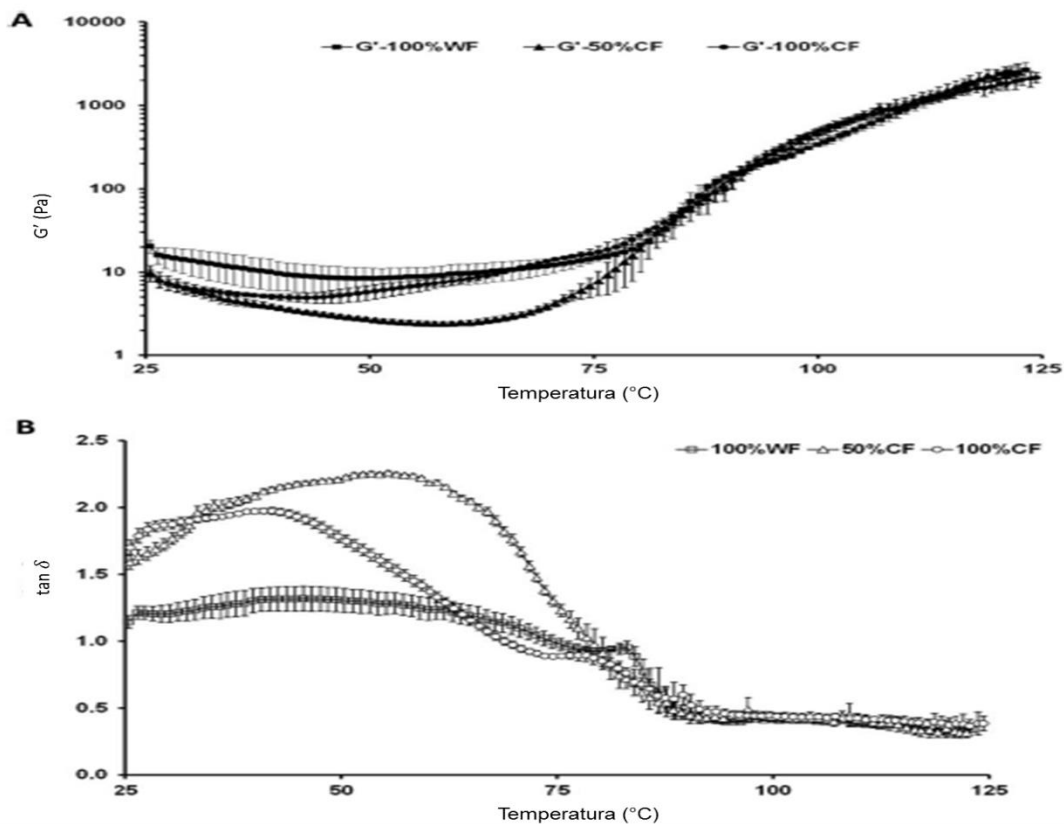


Figura 3.5 Módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') y $\tan \delta$ en función del aumento de temperatura en el batido control y el remplazado parcial o completamiento por harina de garbanzo (Álvarez et al., 2017).

Observando que el módulo G' de todos los batidos comenzó a crecer gradualmente con el aumento de temperatura (Figura 3.5A), y se alcanzó el cruce de G' y G'' (datos no mostrados), donde también se asoció con un aumento de viscoelasticidad (valores de $\tan \delta$ inferior a 1; Figura 3.5B). El punto de gelificación, que se define como el momento en el que G' y G'' se cruzan, generalmente ocurre como resultado de la etapa temprana de gelatinización del almidón; esta etapa corresponde a cuando los gránulos de almidón se hinchan y funden. El efecto de reemplazar harina de trigo sobre las temperaturas del punto de gel inicial (T_{gel}) de las masas se muestra en el Cuadro 3.6. Donde no hubo diferencias significativas entre los valores de T_{gel} de la masa de trigo al 100% y la masa para *muffin* sin gluten, mientras que la presencia de ambas harinas aumentó la temperatura de gelatinización del almidón de la masa por lo que estas van a tardar más en formar la red tridimensional debido a la disminución del gluten por la adición de harina de garbanzo. El retraso de la gelatinización del almidón en las masas que contienen harina de trigo y garbanzo es crucial para evitar un endurecimiento temprano y dar suficiente tiempo para la expansión adecuada de aire y vapor durante la cocción.

Un endurecimiento temprano asociado a la falta de gluten podría causar expansión inadecuada de las celdas de aire individuales. Por lo que en este caso el retraso del proceso de gelatinización en las masas con 75, 50, 25% de remplazo de harina de trigo por garbanzo podría atribuirse simplemente a la mezcla de diferentes fracciones de proteínas y almidón. Este hallazgo puede estar asociado con una posible incompatibilidad termodinámica entre polisacáridos, proteínas o ambos que ocurren en masas formuladas con mezclas de ambas harinas debido a que muchas proteínas son incompatibles termodinámicamente en soluciones acuosas.

Durante la mezcla de harina con agua, albúminas, globulinas, almidón soluble en agua (de los gránulos de almidón dañados) y pentosanos forman una fase acuosa líquida. Es inmiscible con glutelinas y gliadinas, que forman una fase de gluten

separada. Además, el aumento de los valores de T_{gel} en presencia de ambas harinas también podría atribuirse al hecho de que los gránulos de almidón o las proteínas necesitan más tiempo para hincharse y desplegarse, respectivamente, debido a la competencia por el agua.

Después del punto de gelificación, G' y G'' de las muestras continuaron aumentando hasta alcanzar un valor máximo, donde este período está asociado con la gelatinización completa del almidón y/o la desnaturalización o coagulación de las proteínas. Teniendo en cuenta que el patrón de comportamiento de G' y G'' entre la T_{gel} y la temperatura de calentamiento final fue bastante similar en todos los batidos, con valores máximos cercanos de los dos módulos. En esta etapa, el comportamiento de la masa probablemente esté dominado por la presencia de una red de proteínas. Al final del barrido de temperatura, el aumento de esta también redujo los valores de $\tan \delta$ (cercanos a 0) de manera similar (Figura. 3.5B). La diferente evolución de la $\tan \delta$ a lo largo del barrido de temperatura podría estar indicando el efecto de las distintas fracciones de proteínas presentes en los batidos, ya que tienen diferentes estructuras, propiedades moleculares y diferentes propiedades funcionales.

3.2.2 Viscosidad de las masas con harina de garbanzo y trigo

Cuando se llega a la curva de flujo en equilibrio, es decir, cuando ya no depende del tiempo de cizallamiento, se ajustó a los modelos de Casson y Herschel-Bulkley el comportamiento del flujo de los batidos para *muffin* donde los resultados se muestran en el Cuadro 3.7 (Álvarez et al., 2017).

Se puede observar que el esfuerzo de cedencia (σ_0) tanto para la masa control como para las mezclas no muestran diferencias significativas, ya que se encuentran en el mismo intervalo (3.2-4.9 Pa), sin embargo, cuando se evaluó la masa con el 100% de garbanzo hubo un aumento a 12.6 Pa, lo que indica que

presentó una mayor resistencia para poder fluir, por lo que se podría decir que esta mezcla tiene una estructura más compleja por la ausencia del gluten.

Lo anterior tiene impacto en el índice de consistencia (k) del modelo Herschel-Bulkley, ya que el valor también es alto (19.9 Pa sⁿ) mientras, que en las otras mezclas y el control presentaron valores bajos (8.6-10 Pa sⁿ). Para el caso de n se observa que a pesar de que se muestran diferencias significativas no hubo tanta variación en su comportamiento fluidificante a la cizalla, ya que si los valores de n son igual a 1 presenta un comportamiento newtoniano, es decir que el material líquido se deforma continuamente, y es proporcional al esfuerzo de cizalla que está actuando en él, mientras que si los valores son menores de 1, es fluidificante ya que disminuye su viscosidad al incrementar la velocidad de cizalla.

Cuadro 3.7. Efecto de la sustitución de la harina de trigo en las propiedades reológicas (Álvarez et al., 2017).

Parámetros reológicos	Harinas				
	Trigo Control (100%)	Garbanzo (25%)	Garbanzo (50%)	Garbanzo (75%)	Garbanzo (100%)
σ_0 [Pa]	4.2 ± 0.5 ^b	4.5 ± 1.6 ^b	3.2 ± 0.3 ^b	4.9 ± 0.7 ^b	12.6 ± 0.8 ^a
k_C [Pa s]	2.3 ± 0.3 ^c	2.5 ± 0.1 ^{b,c}	3.0 ± 0.1 ^{b,c}	3.2 ± 0.4 ^b	4.4 ± 0.5 ^a
k [Pa s ⁿ]	8.6 ± 0.6 ^b	8.6 ± 1.8 ^b	8.7 ± 0.3 ^b	10.0 ± 1.3 ^b	19.9 ± 2.0 ^a
n	0.76 ± 0.01 ^{b,c}	0.78 ± 0.03 ^{a,b}	0.80 ± 0.01 ^a	0.79 ± 0.02 ^{a,b}	0.73 ± 0.01 ^c

± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras ($n=9$).

En cuanto a la viscosidad del modelo de Casson (k_C) se observa que para la masa control como para las mezclas no hay diferencias significativas, sin embargo, al igual que en el modelo Herschel-Bulkley en la masa que contiene el 100% de harina de garbanzo el valor aumentó a 4.4 Pa sⁿ.

3.2.3 Color de la masa con harina de garbanzo y trigo

Otra de las propiedades que se determinaron de los batidos fue el color donde los valores obtenidos se presentan en el Cuadro 3.8 (Álvarez et al., 2017).

Un aumento en la sustitución de harina de trigo produjo una disminución de la densidad en el batido y un aumento en los valores de color rojo y amarillo, es decir, el batido adquirió un color amarillo saturado. Los valores de a^* y b^* tienen los valores más altos (2-3.3%,19.3-25.3%) en las formulaciones donde se sustituyó el trigo por el garbanzo, lo que refleja que estas masas tenían un color más anaranjado que el control.

Cuadro 3.8. Efecto del remplazo de la harina de trigo sobre las propiedades físicas del batido del *muffin* (Álvarez et al., 2017).

Parámetros	Harinas				
	Trigo (100%)	Garbanzo (25%)	Garbanzo (50%)	Garbanzo (75%)	Garbanzo (100%)
L^*	66.9 ± 0.1^a	66.6 ± 0.2^b	62.7 ± 0.2^d	63.2 ± 0.2^c	62.5 ± 0.2^d
a^*	1.5 ± 0.06^d	2.0 ± 0.25^c	2.8 ± 0.08^b	2.9 ± 0.15^b	3.3 ± 0.23^a
b^*	14.5 ± 0.1^e	19.3 ± 0.3^d	23.1 ± 0.3^c	24.2 ± 0.6^b	25.3 ± 0.3^a

± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras ($n=9$).

El color que se observa en los batidos se deriva tanto de la harina de trigo como de la de garbanzo, debido a pigmentos naturales llamados carotenoides que son colorantes naturales liposolubles de color amarillo-naranja presentes en alimentos de origen vegetal y animal (Carreira, 2020). En el garbanzo los carotenos que más abundan son el β -caroteno y el licopeno (Figares, 2021).

3.3 Galleta

3.3.1 Propiedades viscoelásticas de masas con harina de garbanzo, arroz y gomas

Viscoelasticidad de la masa

Las propiedades viscoelásticas de la masa se relacionan directamente con la calidad del producto final por lo que los resultados que se obtuvieron del análisis reológico a las diferentes masas se muestran en la Figura 3.6 (Hamdani et al., 2020). En todas las formulaciones, G' fue mayor que G'' lo que representa un

comportamiento característico de los sólidos viscoelásticos. La masa de la galleta control presentaron los valores más bajos de ambos módulos, sin embargo, la adición de gomas mejoró el comportamiento viscoelástico de las masas en el siguiente orden, goma acacia < albaricoque < goma karaya. Este orden se visualiza en la Figura 3.6 donde se observa que el valor más alto de los módulos lo muestra la masa que contiene goma karaya. El contenido de polisacáridos en las gomas influye en la respuesta reológica de las masas ya que se crean zonas de unión o por una fuerte interacción con otros componentes por medio de puentes de hidrogeno. Tal comportamiento de las gomas puede usarse para explicar su capacidad para imitar las propiedades viscoelásticas del gluten en formulaciones sin gluten.

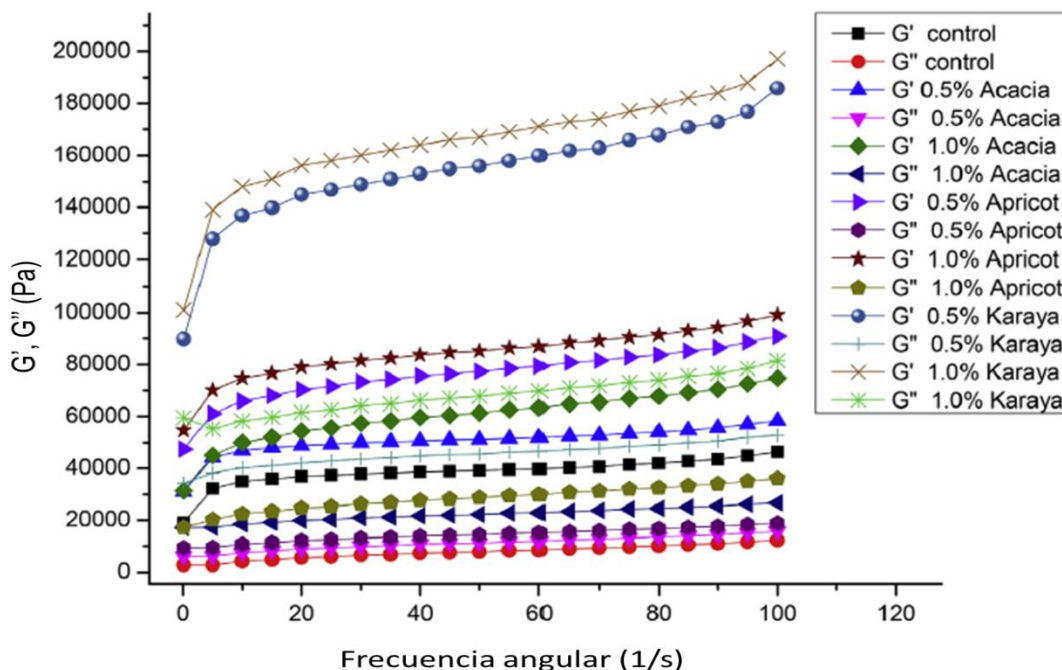


Figura 3.6 Reología de muestras de masa con y sin adición de gomas exudadas (Hamdani et al., 2020).

3.3.2 Color de la galleta con harina de garbanzo, arroz y gomas

Los parámetros de color Hunter L^* , a^* y b^* para las muestras de las galletas se presentan en el Cuadro 3.9 (Hamdani et al., 2020). Se observó que los valores de

color Hunter de las galletas durante el período de almacenamiento de 0 a 9 meses siguieron una tendencia similar con valores L* significativamente más bajos (55-50) y valores a* y b* significativamente más altos (4-5, 35-38) en el control.

Cuadro 3.9. Color de las muestras de galletas (Hamdani et al., 2020).

Parámetro	Control	Acacia 0.5 %	Acacia 1.0 %	Albaricoque 0.5 %	Albaricoque 1.0 %	Karaya 0.5 %	Karaya 1.0 %
0 meses de almacenamiento							
L*	55 ± 2 ^{ay}	55 ± 3 ^{bw}	56 ± 2 ^{dx}	55 ± 1 ^{ax}	56 ± 1 ^{bw}	56 ± 3 ^{bw}	56 ± 3 ^{cw}
a*	4 ± 0.1 ^{en}	3.5 ± 1 ^{cn}	3 ± 0.3 ^{an}	4 ± 0.3 ^{dn}	3 ± 1 ^{bn}	4 ± 1 ^{cn}	2 ± 0.3 ^{an}
b*	35 ± 1 ^{er}	34 ± 0.2 ^{cr}	32 ± 0.5 ^{ar}	32 ± 0.2 ^{bq}	32 ± 1 ^{ar}	35 ± 0.1 ^{dr}	33 ± 0.1 ^{bq}
3 meses de almacenamiento							
L*	53 ± 0.1 ^{ax}	54 ± 1 ^{cv}	58 ± 0.2 ^{tw}	52 ± 1 ^{bw}	54 ± 0.1 ^{dv}	55 ± 2 ^{ew}	55 ± 1 ^{ev}
a*	4 ± 0.1 ^{co}	4 ± 0.1 ^{co}	4 ± 0.3 ^{bo}	4 ± 0.1 ^{co}	3 ± 0.1 ^{ao}	4 ± 0.1 ^{co}	3 ± 0.1 ^{ao}
b*	36 ± 0.3 ^{ds}	35 ± 1 ^{ds}	33 ± 0.3 ^{as}	34 ± 0.1 ^{cr}	33 ± 0.1 ^{as}	35 ± 1 ^{cs}	34 ± 1 ^{br}
6 meses de almacenamiento							
L*	50 ± 0.3 ^{aw}	52 ± 0.2 ^{bu}	58 ± 0.1 ^{ev}	51 ± 1 ^{bv}	54 ± 1 ^{cv}	55 ± 0.2 ^{cv}	55 ± 1 ^{dv}
a*	4 ± 0.1 ^{dop}	4 ± 0.1 ^{cp}	4 ± 0.1 ^{bp}	4 ± 0.1 ^{co}	4 ± 0.4 ^{ap}	4 ± 0.1 ^{dp}	3 ± 0.3 ^{ap}
b*	37 ± 0.5 ^{dst}	36 ± 0.3 ^{cs}	33 ± 0.0 ^{at}	35 ± 1 ^{bs}	33 ± 1 ^{at}	35 ± 0.2 ^{ct}	34 ± 0.1 ^{bs}
9 meses de almacenamiento							
L*	50 ± 0.1 ^{av}	50 ± 0.3 ^{au}	56 ± 1 ^{du}	50 ± 0.1 ^{au}	53 ± 1 ^{bu}	53 ± 1 ^{bu}	55 ± 0.1 ^{cu}
a*	5 ± 0.1 ^{cq}	4 ± 0.2 ^{bcq}	4 ± 0.2 ^{bq}	4 ± 0.1 ^{bcp}	4 ± 0.1 ^{apq}	5 ± 0.2 ^{cq}	3 ± 0.2 ^{ap}
b*	38 ± 0.2 ^{eu}	36 ± 1 ^{dt}	34 ± 0.1 ^{at}	36 ± 0.4 ^{dt}	33 ± 1 ^{at}	36 ± 0.2 ^{ct}	35 ± 0.1 ^{bt}

± desviación estándar. Letras diferentes (a, b, c, ...) en la fila o en la columna (n, o, p, ...) significan diferencias significativas (p<0.05) entre las muestras (n=3).

Las galletas con gomas añadidas en ambas concentraciones de prueba tenían un aspecto más claro con valores más altos (50-58) de luminosidad y valores más bajos (5-3, 36-32) de enrojecimiento y amarillez. Sin embargo, a medida que el período de almacenamiento aumentó de 0 a 9 meses, los valores L* disminuyeron (56-50) y los valores a* y b* aumentaron (3-5, 32-36) significativamente. Esto implica el oscurecimiento de todas las muestras de galletas con el almacenamiento. Dado que las galletas estaban empaquetadas en bolsas laminadas selladas herméticamente, se puede atribuir a que se produce un cierto nivel de entrada de oxígeno durante el período de almacenamiento.

3.3.3 Compresión con tres puntos de apoyo para la galleta con harina de garbanzo, arroz y gomas y estudio de vida útil

Los resultados del análisis de textura se presentan en el Cuadro 3.10 (Hamdani et al., 2020). La dureza de las galletas está influenciada por las interacciones entre el agua, almidón y proteína. Las galletas control a los cero meses de almacenamiento presentaron una disminución de la dureza de 50 a 33 N hasta los 9 meses de almacenamiento, tomando el valor más alto de dureza (50 N) a temperatura ambiente 2 h después del horneado, esto debido a que esta galleta tenía un alto contenido de proteínas (7.9 g/100 g) y carbohidratos (79.0 g/100 g). En cuanto a las galletas que contienen gomas a los cero meses presentaron una dureza en un intervalo de 30 a 40 N que disminuyó significativamente de manera dependiente de la concentración con el aumento en el periodo de almacenamiento hasta los 9 meses en un intervalo de 39 a 24 N.

Lo anterior se relaciona con los resultados de las pruebas dinámicas a las masas, ya que la masa control tiene los valores más bajos de los módulos indicando que sus componentes presentaron una interacción más fuerte que con la adición de las gomas aumentó, ya que estas actúan como hidrocoloides provocando una mayor absorción de agua afectando el comportamiento reológico de la masa, así como el producto final.

Cuadro 3.10. Análisis de textura de las muestras de galletas a diferentes periodos de almacenamiento (Hamdani et al., 2020).

Muestra	Fuerza (N)			
	0 meses	3 meses	6 meses	9 meses
Control	50 ± 0.4 ^{cs}	50 ± 0.1 ^{ct}	40 ± 0.1 ^{bt}	33 ± 0.1 ^{ar}
0.5 % Acacia	36 ± 0.4 ^{dp}	33 ± 0.1 ^{cq}	33 ± 0.2 ^{bq}	30 ± 1 ^{ap}
1.0 % Acacia	30 ± 2 ^{dn}	27 ± 1 ^{cn}	26 ± 1 ^{bn}	24 ± 2 ^{an}
0.5 % Albaricoque	40 ± 4 ^{cr}	39 ± 4 ^{cs}	38 ± 2 ^{bs}	34 ± 1 ^{ar}
1.0 % Albaricoque	37 ± 4 ^{dq}	34 ± 0.2 ^{cr}	34 ± 0.1 ^{br}	32 ± 0.1 ^{aq}
0.5 % Karaya	34 ± 1 ^{do}	31 ± 0.3 ^{co}	28 ± 0.4 ^{bo}	24 ± 1 ^{an}
1.0 % Karaya	35 ± 0.1 ^{dp}	32 ± 0.1 ^{cp}	30 ± 0.1 ^{bp}	24 ± 1 ^{ao}

± desviación estándar. Letras diferentes (a, b, c, ...) en la fila o en la columna (n, o, p, q...) significan diferencias significativas (p<0.05) entre las muestras (n=3).

3.3.4 Evaluación sensorial para la galleta con harina de garbanzo, arroz y gomas

Los resultados de Hamdani et al. (2020) de la evaluación sensorial de galletas se presentan en el Cuadro 3.11. Todas las muestras a los 0 meses presentaron los valores más altos en textura, apariencia y sabor, sin embargo, sin importar el tiempo de almacenamiento las galletas control presentaron los valores más bajos en comparación con todas las muestras con diferencias significativas.

Cuadro 3.11 Evaluación sensorial de las galletas (Hamdani et al., 2020).

Almacenamiento (Meses)	Control	Acacia 0.5 %	Acacia 1.0 %	Albaricoque 0.5 %	Albaricoque 1.0 %	Karaya 0.5 %	Karaya 1.0 %
Textura							
0	6.2 ± 0.3 ^{ar}	7.0 ± 0.3 ^{cs}	7.0 ± 0.7 ^{cr}	6.8 ± 0.8 ^{bs}	6.9 ± 0.4 ^{bs}	7.1 ± 0.4 ^{cr}	7.6 ± 0.4 ^{ds}
3	6.1 ± 0.2 ^{ar}	6.8 ± 0.3 ^{cr}	6.9 ± 0.5 ^{cr}	6.0 ± 0.4 ^{ar}	6.5 ± 0.5 ^{br}	7.0 ± 0.3 ^{cr}	7.4 ± 0.4 ^{dr}
6	5.6 ± 0.5 ^{aq}	6.4 ± 0.5 ^{cq}	6.4 ± 0.5 ^{cq}	6.2 ± 0.4 ^{bq}	6.4 ± 0.5 ^{cq}	6.8 ± 0.4 ^{dq}	7.1 ± 0.2 ^{eq}
9	4.8 ± 0.4 ^{ap}	4.9 ± 0.5 ^{ap}	5.0 ± 0.7 ^{bp}	4.8 ± 0.4 ^{ap}	5.4 ± 0.5 ^{cp}	5.3 ± 0.4 ^{cp}	5.8 ± 0.4 ^{dp}
Apariencia							
0	6.2 ± 0.4 ^{as}	6.4 ± 0.4 ^{bs}	6.5 ± 0.5 ^{bs}	6.4 ± 0.4 ^{bs}	6.5 ± 0.5 ^{br}	6.6 ± 0.4 ^{cs}	7.5 ± 0.5 ^{ds}
3	6.0 ± 0.1 ^{ar}	6.2 ± 0.4 ^{br}	6.7 ± 0.4 ^{dr}	6.2 ± 0.4 ^{br}	6.4 ± 0.5 ^{cr}	6.4 ± 0.5 ^{cr}	7.3 ± 0.4 ^{er}
6	5.6 ± 0.5 ^{aq}	5.8 ± 0.4 ^{bq}	5.8 ± 0.8 ^{bq}	5.8 ± 0.4 ^{bq}	6.0 ± 0.1 ^{cq}	6.1 ± 0.7 ^{cq}	7.0 ± 0.1 ^{dq}
9	4.4 ± 0.5 ^{aq}	5.3 ± 0.4 ^{cp}	5.6 ± 0.5 ^{dp}	5.2 ± 0.8 ^{bp}	5.4 ± 0.5 ^{cp}	5.6 ± 0.5 ^{dp}	6.1 ± 0.5 ^{ep}
Sabor							
0	5.6 ± 0.4 ^{as}	6.3 ± 0.4 ^{br}	6.5 ± 0.5 ^{cr}	6.6 ± 0.5 ^{cr}	6.8 ± 0.4 ^{cs}	6.7 ± 0.4 ^{dr}	7.5 ± 0.5 ^{es}
3	5.4 ± 0.5 ^{ar}	6.2 ± 0.4 ^{br}	6.4 ± 0.5 ^{cr}	6.6 ± 0.5 ^{dr}	6.6 ± 0.8 ^{er}	6.6 ± 0.5 ^{dr}	7.2 ± 0.4 ^{fr}
6	5.2 ± 0.4 ^{aq}	5.8 ± 0.4 ^{bq}	6.0 ± 0.1 ^{cq}	6.2 ± 0.4 ^{dq}	6.1 ± 0.2 ^{dq}	6.3 ± 0.4 ^{eq}	6.8 ± 0.4 ^{fq}
9	4.6 ± 0.5 ^{ap}	5.2 ± 0.4 ^{cp}	5.4 ± 0.5 ^{dp}	5.1 ± 0.7 ^{bp}	5.5 ± 0.5 ^{ep}	5.2 ± 0.8 ^{cp}	5.6 ± 0.5 ^{ep}

± desviación estándar. Letras diferentes (a, b, c, ...) en la fila o en la columna (n, o, p, q...) significan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras ($n=3$).

Las galletas con goma karaya en ambas concentraciones presentaron los valores más altos de textura (5.3-7.6), apariencia (5.6-7.5) y sabor (5.2-7.5), lo cual sugiere que la adición de esta goma se puede usar para obtener galletas libres de gluten con las propiedades sensoriales similares a una galleta con gluten. Con el almacenamiento, los valores de todos los parámetros disminuyeron

significativamente ($p \leq 0.05$) para todas las mezclas de galleta. Hasta los 6 meses la aceptabilidad general fue >6 , excepto para las galletas control. Después de los 6 meses de almacenamiento, las galletas mostraron disminución en sus valores en la aceptabilidad general, por lo que generalmente después de ese tiempo el producto no es agradable para los consumidores. La adición de gomas en ambas concentraciones de prueba redujo la dureza de las galletas, mejoró su apariencia y sabor lo que ocasionó una mejor aceptabilidad por los consumidores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados reportados de las pruebas mecánicas y reológicas aplicadas a la masa para los distintos productos (pan, *muffin*, galleta), al sustituir la harina de trigo o arroz, ya sea parcial o completamente por harina de garbanzo, las masas presentaron cambios como menor resistencia, menor extensibilidad y menor esfuerzo de fractura conforme aumentaba la proporción de sustitución en dichas formulaciones.

En cuanto a las propiedades viscoelásticas de la masa se vieron afectadas positivamente, G' y G'' aumentaron, además, G' fue mayor que G'' en todas las formulaciones lo que representa un comportamiento característico de los sólidos viscoelásticos. En comparación con los datos que obtuvo López-López (2020), donde se determinaron propiedades viscoelásticas a la masa de trigo, G' fue mayor que G'' , al igual que las masas que contienen únicamente harina de trigo, arroz o garbanzo, así como las mezclas en los estudios analizados.

La adición de diferentes tipos de harinas de garbanzo (harina de garbanzo, harina de garbanzo tostado y harina de garbanzo descascarado) no presentó un gran efecto en las propiedades reológicas de las masas, ya que, en todas, la G' fue mayor, mostrando valores ligeramente diferentes.

Las masas del *muffin* presentaron valores de $\tan \delta$ mayores a 1 evidenciando un predominio del comportamiento fluido dentro de los límites de viscoelasticidad lineal. Para las masas de este producto también se tomó en cuenta la temperatura de gelificación, la cual se vio afectada con el aumento de la proporción de sustitución, provocando que dicha temperatura disminuyera alcanzando el valor más bajo cuando la masa contenía el 100% de harina de garbanzo. La adición de harina de garbanzo en este producto también tuvo efecto en la viscosidad, ya que, al aumentar la proporción de sustitución, esta presentó una mayor resistencia para fluir.

Las masas para pan que contenían harina de trigo y harina de garbanzo, con el aumento de proporción de harina de garbanzo, se volvieron pegajosas y difíciles de procesar.

Los productos terminados también mostraron cambios con el aumento de la proporción de la harina de garbanzo, por lo que para las pruebas de color presentaron colores más oscuros en particular más rojos y amarillos, la masa del muffin presentó un color anaranjado. Comparando esto con los resultados que obtuvo Hernández-Rochín (2019) donde se preparó un pan de arroz (libre de gluten), el color de la corteza y la miga se oscureció. Por lo que, comparando estos resultados, cambiar la harina de trigo, ya sea parcial o completamente, afectarán en el color del pan.

Los panes que contenían las mezclas de harina de arroz con harina de garbanzo presentaron una textura y porosidad similar al pan control con 100% de harina de trigo, observando así que la harina de garbanzo ayuda en la dureza del pan libre de gluten.

La adición de gomas a la elaboración de galletas si tuvo efectos positivos como reducir la dureza de las galletas, mejoró su apariencia y sabor lo que ocasionó una mejor aceptabilidad por los consumidores. Al realizar el perfil de textura la galleta control presentó mayor dureza.

Considerando que en algunos estudios solamente se analizó la masa y no el producto final, se recomienda realizar pruebas texturales y sensoriales al *muffin*, ya que esto ayudaría a tener más conocimiento de cómo afecta la mezcla de harina de trigo con harina de garbanzo al producto final.

También debería de realizarse pruebas sensoriales al pan y al *muffin*, ya que serviría además de para evaluar la calidad, saber si son en realidad agradables al consumidor.

A las masas que se prepararon con diferentes tratamientos al garbanzo antes de su molienda, debería de hacerse el pan para observar la diferencia en el color, textura, porosidad de la miga y sabor, para así poder ver si la diferencia de harinas tiene un efecto en el producto final.

REFERENCIAS

- Ahmad-Sofi, S., Muzzafar, K., Ashraf, S., Gupta, I., Ahmad-Mir, S. (2020). Chickpea. In A. Manickavasagan, P. Thirunathan (Eds.), *Pulses: Processing and Product Development*, Canada, Springer, pp. 55–76.
- Álvarez, M. D., Herranz, B., Fuentes, R., Cuesta, F. J., Canet, W. (2017). Replacement of wheat flour by chickpea flour in muffin batter: Effect on rheological properties. *Journal of Food Process Engineering*, 40, 1–13.
- Baquero, J. (1988). *Extracción de Aceite de Semillas Oleaginosas*, Madrid, España:Publicaciones Agrarias, Pesqueras y Alimentarias.
- Belton, P. S. (2012). The Molecular Basis of Dough Rheology. In S. Cauvain (Eds.), *Breadmaking: Improving Quality*, London, UK:Woodhead Publishing Limited, pp 337-351.
- Borneo, R. (2008). Molienda de cereales: molienda seca vs húmeda. Química, Ciencia y Tecnología de Cereales. Recuperado de <http://cytcereales.blogspot.com/2008/06/molienda-de-cereales-2-molienda-seca-vs.html>. Consultado 20 mayo 2022.
- Burešová, I., Tokár, M., Mareček, J., Hřivna, L., Faměra, O., Šottníková, V. (2017). The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 158–164.
- Calle, J. (2020). Productos horneados: claves para una alimentación saludable. Recuperado de <https://www.excelenciasgourmet.com/es/salud/productos-horneados-claves-para-una-alimentacion-saludable-i-parte>. Consultado 25 enero 2021.
- Carreira, I. (2020). *El color de los alimentos*. Simbiosis, S. Coop. Galeaga. Recuperado de <https://www.cooperativasimbiosis.com/el-color-de-los-alimentos/>. Consultado 10 junio 2022.
- Cauvain, S. P. (2004). Improving the texture of bread. In D. Kilcast (Eds.), *Texture in Food Volume 2: Solid Foods*, London, UK: CRC Press, pp 448-466.
- DISAN (2021). Reología de masas: propiedad física que se puede mejorar con los

- hidrocoloides. Recuperado de <https://disanlatinoamerica.com/reologia-de-masas-propiedad-fisica-que-se-puede-mejorar-con-los-hidrocolides/>. Consultado 25 agosto 2021.
- Duodu, K. G., Minnaar, A. (2011). Legume composite flours and baked goods: nutritional, functional, sensory, and phytochemical qualities. In V. R Preddy, R. R. Watson (Eds.), *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention Legume*, Pretoria, South Africa: AP, pp 193-200.
- Echeverría, A. Triana, A. Rivero, D. Rodríguez, A. Martínez, B. (2019). Generalidades del cultivo de garbanzo y alternativa biológica para el control de la marchitez. *Cultivos Tropicales*. 40 (4), 1–106.
- FAO (2016). Legumbres: semillas nutritivas para un futuro sostenible. Disponible en <http://www.fao.org/3/i5528s/i5528s.pdf>. Consultado 3 Junio 2021.
- Farias, C. (2019). *¿Cómo funciona un colorímetro digital?* Disponible en <https://www.bluemetric.mx/como-funciona-un-colorimetro-digital/>. Consultado 30 noviembre 2020.
- Figares, M. (2021). Garbanzos: propiedades, valor nutricional y beneficios. CONASI. Recuperado de <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/garbanzos-propiedades/>. Consultado 15 mayo 2022.
- Hamdani, A. M., Wani, I. A., Bhat, N. A. (2020). Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya. *Food Bioscience*, 35, 100541.
- Hernández-Rochín, M. M. (2019). Elaboración de pan de caja sin gluten adicionado con fructanos de agave. Tesis Licenciatura, Ingeniería en Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México.
- INNOGRAIN (2020). Harinas tratadas térmicamente. Recuperado de <https://innograin.uva.es/2020/11/17/harinas-tratadas-termicamente/>. Consultado 18 mayo 2022.
- Kahraman, G., Harsa, S., Lucisano, M., Cappa, C. (2018). Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours. *LWT Food Science and Thechnology*, 98, 276–282.
- Konica Minolta. (2013). Manual de usuario CR-400/410. Disponible en

- http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/color/pdf/cr-400-410_instruction_spa.pdf. Consultado 30 noviembre 2020.
- Le Clef, E., Kemper, T. (2015). Sunflower seed preparation and oil extraction. In E. Martinez, N. Turgut, J. Salas (Eds.), *Sunflower: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*, USA:AOCS Press, pp 187-200.
- López-López, A. (2020). Efecto de fructanos y jarabe de agave en las propiedades físicas y texturales de pan blanco de caja y reológicas de la masa. Tesis Licenciatura, Ingeniería en Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez-Padilla, L. P. (2012). Guía Rápida del Reómetro MCR301, Physica, Anton Paar. Documento interno, LAPRYFAL, FESC-UNAM.
- Matos, M. E., Sanz, T., Rosell, C. M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, 35, 150–158.
- Meurer, M. C., de Souza, D., Ferreira-Marczak, L. D. (2020). Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*, 265, 109688.
- Mohammed, I., Ahmed, A. R., Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36, 196–202.
- Nadal, S., Moreno, M.T., Cubero, J. I. (2004). *Las Leguminosas Grano en la Agricultura Moderna*, Madrid, España:Mundi-Prensa.
- NMX-F516-1992 Alimentos. Productos de panificación. Clasificación y definiciones. México.
- NMX-F-006-1983 Alimentos. Galletas. México.
- NOM-F-159-S-1979. Pan blanco de caja. México.
- NOM-247-SSA1-2008. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. México.
- Peressini, D., Pin, M., Sensidoni, A. (2011). Rheology and breadmaking

- performance of rice-buckwheat batters supplemented with hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 25, 340–349.
- Ponce, N. E., Polloreña, G., Rosas, C., Mariel, V. (2017). Composición química, características funcionales y capacidad antioxidante de formulaciones de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) blanco sinaloa 92. *Agrociencia*, 53, 35–44.
- Reyna, S. (2021). Industria panificadora: uno de los negocios más redituables en México. *MetalBoss Integrando Innovación*. Recuperado de <https://www.metalboss.com.mx/industria-panificadora-uno-de-los-negocios-mas-redituables-en-mexico>. Consultado 25 agosto 2021.
- Rodríguez, E., Fernández, A., Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación*, 25, 72–78.
- Shrivastava, C., Chakraborty, S. (2018). Bread from wheat flour partially replaced by fermented chickpea flour: Optimizing the formulation and fuzzy analysis of sensory data. *LWT Food Science and Technology*, 90, 215–223.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2^{da} ed.), East Lansing, MI, USA: FreemanPress.
- Tecnosa (2016). Extensógrafo-E de Brabender. Recuperado de <https://tecnosa.es/catalogo/alimentacion/brabender-alim/extensografo-e/>. Consultado 4 enero 2021.
- Wilde, P. (2012). Foam formation in dough and bread quality. In S. Cauvain (Eds.), *Breadmaking: Improving Quality*, London, UK: Woodhead Publishing Limited, pp 370-399.
- Wood, J. A., Grusak, M. A. (2007). Nutritional value of chickpea. In S.S. Yadav, R. Redden, W. Chen, B. Sharma (Eds.), *Chickpea Breeding and Management*, London, UK: CABI, pp 101–142.
- Yadav, S.S.Redden, R., Chen, W., Sharma, B. (2007). *Chickpea Breeding and Management*, London, UK:CABI.