

**UTILIZACIÓN DE HARINAS COMPUESTAS DE MAÍZ Y GARBANZO
ADICIONADAS CON FIBRA DE CÁSCARA DE PIÑA PARA
SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO EN PRODUCTOS DE
PANIFICACIÓN**

**DOREEN HOYOS SÁNCHEZ
ANNETH GISELLE PALACIOS PEÑA**

**UNIVERSIDAD DEL VALE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
CALI, COLOMBIA, 2015**

**UTILIZACIÓN DE HARINAS COMPUESTAS DE MAÍZ Y GARBANZO
ADICIONADAS CON FIBRA DE CÁSCARA DE PIÑA PARA
SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO EN PRODUCTOS DE
PANIFICACIÓN**

**DOREEN HOYOS SÁNCHEZ
ANNETH GISELLE PALACIOS PEÑA**

**Trabajo de grado como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero de Alimentos**

**Director
HAROLD ACOSTA ZULETA, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
CALI, COLOMBIA, 2015**

RESUMEN

Se desarrollaron dos productos de panificación, galleta polvorosa y pan de molde, empleando mezclas de harinas de trigo, garbanzo, maíz y fibra de piña. Los productos se elaboraron a partir de cuatro formulaciones, las galletas con sustituciones entre el 80 y 100% y los panes con sustituciones entre el 33 y 43%. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas de las harinas; reológicas de las masas y sensoriales de los productos finales. Las harinas compuestas destinadas a la elaboración de pan presentaron una mayor homogeneidad y menor tamaño de partícula comparadas con las harinas para galletas, debido a la presencia de un mayor porcentaje de harina de trigo. Según los resultados de IAA, ISA y PH, la hidratación de las masas aumentó, al incrementar la sustitución de harina de trigo debido al mayor contenido de fibra, obteniéndose mayores valores de éstos parámetros en las formulaciones con mayor contenido de harina de maíz. La viscosidad disminuyó al incrementar el porcentaje de sustitución, lo que se relaciona con la capacidad de retención de agua de las harinas. Las masas para galletas mostraron una mayor resistencia mecánica al incrementar la sustitución, por el contrario, las masas de pan mostraron menor fuerza de compresión; por lo que se interpretó que, con una mayor sustitución, existe menor resistencia ante los procesos de fermentación. Los panes presentaron una reducción del volumen al aumentar la sustitución, de 1350 ± 13 mL para pan blanco (referencia) hasta 700 ± 10 mL para pan con 43% de sustitución; del mismo modo, incrementaron su dureza de $8,53 \pm 0,29$ N a $17,12 \pm 0,46$ N. Sensorialmente, los productos obtuvieron una buena aceptación, puesto que la aceptabilidad general de los productos recibió altas puntuaciones en el panel sensorial, de igual forma los productos finales exhibieron un color café que los identifica ante el consumidor, como un producto integral. Los físicos y sensoriales indicaron que los productos con menor sustitución, 33% en pan y 80% en galleta, presentaron las mejores características en cuanto a la aceptación del consumidor y en similaridad con la referencia, lo que supone un avance en la producción de alimentos con alto contenido de fibra y bajo contenido de gluten.

Palabras clave: Harinas compuestas, garbanzo, maíz fibra de piña, sustitución de harina de trigo, productos de panificación.

ABSTRACT

Two products baking, dusty biscuit and bread were developed, using mixtures of wheat flour, chickpea, corn and pineapple fiber. The products were developed from four formulations cookies substitutions between 80 and 100% and breads with substitutions between 33 and 43%. Flour physicochemical properties were

assessed; Rheological of mass and sensory of the final products. The composite flour intended for the production of bread had a higher homogeneity and smaller particle size compared with flour for cookies, due to the presence of a higher percentage of wheat flour. The results of IAA, ISA and PH, mass hydration increased by increasing the replacement of wheat flour due to the higher fiber content to give higher values of these parameters in the formulations with higher content of cornmeal. The viscosity decreased with increasing degree of substitution, which is related to the water holding capacity of flour. The cookie dough showed a higher mechanical strength by increasing the substitution, however, bread doughs showed a littlest compression strength; It interpreted so that, with further substitution, there is less resistance to the fermentation process. The bread had a volume reduction by increasing substitution of 1350 ± 13 mL for white bread (reference) to 700 ± 10 mL bread with 43% substitution; likewise, increased hardness of 8.53 ± 0.29 to 17.12 ± 0.46 N. Sensory, products obtained a good acceptance, since the overall acceptability of the products received high scores in the sensory panel, just as the final products exhibited a brown color that identifies them to the consumer as an integral product. Physical and sensory they indicated that products with lower substitution, 33% and 80% bread on cookie, presented the best characteristics in terms of consumer acceptance and similarity to the reference, which represents a breakthrough in food production high in fiber and low in gluten.

Keywords: Chickpea flour, cornmeal, pineapple fiber, replacement of wheat flour, bakery products.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fiel colaborador en este camino recorrido, por permitirme poner lo mejor de mí en cada uno de los proyectos emprendidos a lo largo de mi vida.

A mi madre Noralba Sánchez por ser mi mayor motor de impulso para lograr mis más anheladas metas, por su paciencia y en especial por todo el apoyo y amor que me ha dado.

A mi fiel compañero Yogui por ser mi acompañante incondicional en las largas jornadas de estudio y brindarme momentos de tranquilidad cuando las cosas no se encuentran en el mejor escenario.

Doreen Hoyos Sánchez

A Dios por permitirme estar aquí hoy, a mi compañera Doreen Hoyos por trabajar conmigo y ser mi amiga durante todo este proceso a pesar de las dificultades.

A mi madre Janeth Peña por apoyarme en todas mis decisiones, darme educación y enseñarme el valor del trabajo.

A toda mi familia, mis hermanos, Joseph e Ian, mi abuela Enelia y demás por tener fé en la culminación de esta etapa de mi vida.

Agradezco a Stella Ruiz por convertirse en una segunda madre para mí, cuidarme y darme su amistad.

Anneth Giselle Palacios Peña

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director Harold Acosta por impulsarnos en nuestro desarrollo como Ingenieras de Alimentos y ser el orientador en este proyecto.

Al señor Felix Cipriani y a su equipo en ANIPAN por brindarnos su apoyo, conocimiento e instalaciones para el desarrollo de los productos.

Al personal de laboratorio de la escuela de ingeniería de alimentos por su orientación y disponibilidad para el desarrollo de los análisis del proyecto.

Al profesor Alejandro Fernández por su ardua orientación y disponibilidad en los análisis de viscosidad.

Al profesor Juan Sebastián Ramírez por orientación en el uso del texturómetro y la realización de los análisis de textura.

A la señora Cruz por prestarnos su molino para la obtención de las harinas de garbanzo y maíz.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	MARCO TEÓRICO	2
2.1	TRIGO.....	2
2.1.1	Generalidades	2
2.1.2	Harina de Trigo	2
2.1.3	Composición	3
2.2	MAÍZ	4
2.2.1	Generalidades	4
2.2.2	Harina de Maíz	4
2.2.3	Composición	5
2.3	GARBANZO	5
2.3.1	Generalidades	5
2.3.2	Harina de garbanzo	6
2.3.3	Composición	6
2.4	FIBRA DE PIÑA	7
2.4.1	Generalidades	7
2.4.2	Polvo de fibra de piña	7
2.4.3	Composición	7
2.5	HARINAS COMPUESTAS	8
2.6	ALIMENTOS LIBRES DE GLUTEN	9
2.7	CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS Y LAS MEZCLAS	9
2.7.1	Molienda	9
2.7.2	Granulometría.....	10
2.7.2.1	Módulo de fineza (MF)	10
2.7.2.2	Diámetro promedio (D).....	11
2.7.3	Índice de Solubilidad de Agua (ISA), Índice de Absorción de Agua (IAA) y Poder de Hinchamiento (PH).....	11
2.7.4	Reología	12
2.7.4.1	Esfuerzo de corte (σ)	12
2.7.4.2	Velocidad de corte (γ).....	12
2.7.4.3	Viscosidad aparente (μ)	12
2.7.4.4	Comportamiento del fluido	13
2.7.4.5	Medición de la viscosidad	14
2.8	DESARROLLO DE PRODUCTOS DE PANADERÍA	15

2.8.1	Productos de panadería: Galletas y pan.....	15
2.8.1.1	Funcionalidad de los ingredientes.....	15
2.8.1.1.1	Harina	15
2.8.1.1.2	Agua	16
2.8.1.1.3	Levadura.....	16
2.8.1.1.4	Sal.....	17
2.8.1.1.5	Azúcar.....	17
2.8.1.1.6	Grasas	17
2.8.1.1.7	Mejorador enzimático de harinas	18
2.8.1.1.8	Polvo de hornear.....	18
2.8.1.1.9	Saborizantes.....	18
2.8.1.2	Galletas.....	19
2.8.1.2.1	Proceso de elaboración de las galletas	19
2.8.1.3	Pan.....	20
2.8.1.3.1	Métodos de Panificación.....	20
2.8.1.3.2	Proceso de elaboración del pan	21
2.9	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE LA MASA..	26
2.9.1	Compresión uniaxial	26
2.10	EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DEL PRODUCTO.....	26
2.10.1	Color.....	26
2.10.2	Volumen general y estructura de la miga del pan	27
2.10.3	Medida de la textura de panes mediante análisis de perfil de textura (TPA)	27
2.10.4	Textura de galletas mediante prueba de penetración	28
2.10.5	Evaluación sensorial.....	28
3	ANTECEDENTES	29
3.1	Investigaciones sobre elaboración de productos de panadería con harinas compuestas	29
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	31
5	JUSTIFICACIÓN	31
6	OBJETIVOS	31
6.1	Objetivo general	31
6.2	Objetivos específicos	32
7	MATERIALES Y MÉTODOS	32
7.1	Materias Primas	32
7.2	Equipos.....	32

7.3	Obtención y caracterización de las harinas.....	33
7.3.1	Obtención de las harinas	33
7.3.2	Granulometría.....	33
7.3.3	Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH).....	34
7.3.4	Reología	34
7.3.4.1	Viscosidad aparente.....	34
7.4	Desarrollo de productos de panadería.....	35
7.4.1	Desarrollo de galletas tipo polvorosas	36
7.4.2	Desarrollo de pan tipo molde	36
7.5	Evaluación de las masas	40
7.5.1	Propiedades texturales de la masa.....	40
7.6	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO	40
7.6.1	Color	40
7.6.2	Volumen general y estructura de la miga de los panes	41
7.6.3	Textura de los panes mediante prueba TPA	41
7.6.4	Textura de galletas mediante prueba de penetración.....	42
7.6.5	Evaluación sensorial.....	43
7.7	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
7.7.1	Diseño experimental para galletas.....	44
7.7.2	Diseño experimental para panes	44
7.7.3	Modelo estadístico	44
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
8.1	Caracterización de las harinas y las mezclas	45
8.1.1	Granulometría.....	45
8.1.2	Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH).....	49
8.1.3	Reología	52
8.1.3.1.1	Viscosidad aparente	52
8.2	Evaluación de las propiedades texturales de las masas.....	55
8.2.1	Prueba de textura para las masas (compresión uniaxial)	55
8.3	Evaluación de las propiedades de los productos	56
8.3.1	Productos obtenidos	56
8.3.2	Color de los productos.....	58
8.3.3	Volumen de los panes y estructura de la miga del pan	60

8.3.4	Evaluación de la textura de los panes	62
8.3.5	Evaluación de la textura de la galleta	64
8.3.6	Evaluación sensorial	65
9	CONCLUSIONES	71
10	RECOMENDACIONES.....	72
11	BIBLIOGRAFÍA.....	72
12	ANEXOS.....	1

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del grano de trigo.....	3
Tabla 2. Composición química del maíz.....	5
Tabla 3. Composición de garbanzo.....	6
Tabla 4. Composición de polvo de cáscaras de piña.....	8
Tabla 5. Contenido de fibra en polvo de fibra de piña.....	8
Tabla 6. Formulaciones para el desarrollo de galletas polvorosas y pan de molde.	35
Tabla 7. Diseño experimental de elaboración de galletas.....	44
Tabla 8. Diseño experimental de elaboración de panes.....	44
Tabla 9. Módulo de finura y diámetro promedio geométrico de las harinas estudiadas.....	48
Tabla 10. Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de las harinas estudiadas.....	50
Tabla 11. Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina compuesta en la textura de las masas de los panes y galletas.....	55
Tabla 12. Galletas obtenidas con las diferentes harinas compuestas y con harina de trigo.....	56
Tabla 13. Panes obtenidos con las diferentes harinas compuestas y con harina de trigo.....	57
Tabla 14. Cambio total de color y en los atributos perceptuales en la elaboración de las galletas.....	59
Tabla 15. Cambio total de color y en los atributos perceptuales en la elaboración de los panes.....	59
Tabla 16. Efecto de la sustitución de harina de trigo.....	60
Tabla 17. Efecto de la sustitución de harina de trigo.....	63
Tabla 18. Efecto de la sustitución de harina de trigo por.....	64
Tabla 19. Resultados de la evaluación sensorial de las galletas.....	66
Tabla 20. Resultados de la evaluación sensorial de los panes.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esfuerzo frente a velocidad de cizalladura para fluidos independientes del tiempo.	14
Figura 2. Esfuerzo frente a velocidad de cizalladura para dos clases de fluidos no newtonianos, dependientes del tiempo.	14
Figura 3. Proceso para la elaboración de galletas tipo polvorosa.	38
Figura 4. Proceso de elaboración de pan de molde.	39
Figura 5. Prueba de compresión uniaxial. a. Inicio de la prueba. b. Final de la prueba.	40
Figura 6. Prueba de TPA realizada a la miga de un pan con harina compuesta... ..	42
Figura 7. Prueba de penetración realizada a una galleta con harina compuesta. .	43
Figura 8. Harinas puras empleadas en este trabajo. a. Trigo; b. Garbanzo; c. Maíz y d. Fibra de piña.	45
Figura 9. Curva de distribución granulométrica para harina de trigo, maíz, garbanzo y fibra de piña.	46
Figura 10. Curva de distribución granulométrica para harinas compuestas empleadas en la elaboración de galletas.	47
Figura 11. Curva de distribución granulométrica para harinas compuestas empleadas en la elaboración de pan.....	47
Figura 12. Variación de la viscosidad aparente de las suspensiones de harina de trigo, harina de garbanzo y harina de maíz.	53
Figura 13. Variación de la viscosidad aparente de las suspensiones de las harinas compuestas para galletas.....	53
Figura 14. Variación de la viscosidad aparente de las suspensiones de las harinas compuestas para pan.	54
Figura 15. Variación del color entre la harina y las galletas obtenidas de cada una. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.	58
Figura 16. Variación del color entre la harina y los panes obtenidos de cada una. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.	58
Figura 17. Efecto de la formulación de harina en el volumen del pan. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.	61
Figura 18. Efecto de la formulación de harina en la estructura de la miga del pan. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.	62
Figura 19. Variación de la puntuación de los atributos sensoriales de las galletas elaboradas con las diferentes harinas compuestas.....	65

Figura 20.Variación de la puntuación de los atributos sensoriales de los panes elaborados con las diferentes harinas compuestas.....	66
--	----

1 INTRODUCCIÓN

Buscando una solución a la dependencia de los países en desarrollo de las importaciones de trigo, la industria panadera ha sentido la necesidad de encontrar sustitutos para esta materia prima, por lo que se ha indagado y avanzado en la utilización de harinas compuestas, éstas permiten sustituir parcial o totalmente la harina de trigo, reduciendo costos de importación y producción (FAO, 1995). El sector agrícola se transforma constantemente debido a las reformas políticas y el crecimiento económico en todo el mundo, esto cambia los fundamentos de la demanda y la oferta, transformando así la agricultura y ofreciendo oportunidades de inversión para los países en desarrollo (Gómez *et al.*, 2013).

Por lo anterior se propone la sustitución de harina de trigo por harina compuesta de maíz, garbanzo y fibra de piña en polvo. El maíz se usa en muchos productos de panificación por su sabor y su valor nutricional (Amendola & Rees, 2003). Sin embargo, el contenido proteínico del maíz es similar al de otros cereales y la calidad nutricional de la proteína es inferior a la del trigo debido a que ésta es deficiente tanto en lisina como en triptófano. Es por esto que se hace necesario incluir en la formulación harinas obtenidas a partir de legumbres, en este caso harina de garbanzo, para lograr un aumento en el valor nutricional de la harina. La mezcla de trigo, garbanzo y maíz representa un refuerzo alimentario importante para poblaciones con consumo limitado de proteína animal pues la legumbre enriquece el producto con un contenido balanceado de aminoácidos (Mohammed *et al.*, 2012).

El garbanzo provee una harina con buen contenido de proteína, grasas, ceniza y fibra, así como un menor contenido de carbohidratos; comparada con la de trigo, produce una masa con menor viscosidad, mayor densidad y mayor resistencia a la elongación. En general, al sustituir harina de trigo por harina de garbanzo en productos de panadería, resulta en productos terminados más firmes y duros, como consecuencia de una disminución en la cohesividad y resistencia al estiramiento (Gómez *et al.*, 2008).

La adición de fibra dietética confiere textura, capacidad humectante, espesante, emulgente y estabiliza la masa (Saez & Peña, 2013). Por tanto, la utilización de fibra obtenida de cáscaras de la piña en la formulación, busca no solo el aprovechamiento de un desecho alimentario, sino la adición de un ingrediente hidratante que le confiere mejores características texturales al producto (Ramírez & De Delahaye, 2009).

Con este trabajo se pretende evaluar la influencia de estos ingredientes en las propiedades físicas y sensoriales de productos panificados; disminuir el consumo de harina de trigo, así como contribuir al desarrollo de productos libres de gluten, que tengan buena aceptabilidad del consumidor y con un apreciable contenido nutricional.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 TRIGO

2.1.1 Generalidades

Trigo (*Triticum spp*) es el término que designa al conjunto de cereales, cultivados y silvestres, que pertenecen al género *Triticum* (León & Rosell, 2007). El trigo es la planta de más extenso cultivo del mundo en el siglo XX. Unos mil millones de seres humanos lo consumen y contribuye mejor que ningún otro alimento al suministro de energía y proteínas a la especie humana (Salas *et al.*, 2005).

La planta es miembro de la familia de las gramíneas de la que hacen parte los principales cereales consumidos por el hombre como trigo, arroz, centeno, maíz, cebada, avena, sorgo y mijo (Salas *et al.*, 2005). El peso promedio del grano de trigo es de 35 mg, éste está compuesto por el salvado que es la capa externa del grano, el endospermo que es donde se encuentra el almidón, además de que representa más del 80% del volumen total del grano y el embrión que contiene lípidos y proteínas (Roberts & Ingram, 2001).

La producción mundial de trigo fue de 125.92 millones de toneladas para el año 2014, de la cual Colombia representa el 0,012%, con una producción menor a 100.000 toneladas y que ha presentado un decrecimiento gradual durante los últimos 10 años. Por otro lado las importaciones se mantienen constantes, principalmente provenientes de Estados Unidos, Canadá, Argentina y Paraguay hasta el año 2013 (FENALCE, 2014). Estados Unidos es el mayor productor de trigo en el mundo, sin embargo, la perspectiva en éste país es poco favorable dado que las condiciones graves de sequía durante el año 2012 redujeron las tasas de supervivencia durante el invierno y los rendimientos en las zonas afectadas, esto se refleja en los precios mundiales de este cereal y plantea serias preocupaciones acerca de la vulnerabilidad de los mercados de cereales (Gómez *et al.*, 2013).

2.1.2 Harina de Trigo

La harina de trigo es la única que tiene la habilidad de formar una masa cohesiva y tenaz, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química y en especial a las proteínas y su capacidad de formar gluten (León & Rosell, 2007). Uno de los componentes que tecnológicamente son importantes y que determinan la calidad del producto terminado son las proteínas, principalmente las proteínas que integran el gluten (gliadinas y gluteninas) (De la Vega, 2009).

Las proteínas del trigo no tienen una dimensión molecular uniforme, por lo que durante el amasado las fuerzas de cohesión unen las moléculas de dimensiones diferentes; de este fenómeno se forma una masa plástica y elástica denominada gluten (A.A.P.P.A, 2004). Las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse con base en funcionalidad y solubilidad, de acuerdo a su funcionabilidad las proteínas se dividen en dos grandes grupos: formadoras de gluten y aquellas que no forman gluten. Las primeras se denominan proteínas de almacenamiento y constituyen alrededor del 75-80% del total; por otro lado, las proteínas no formadoras de gluten representan entre el 20-25% del contenido total y se encuentran aquí la mayoría de enzimas (León & Rosell, 2007).

2.1.3 Composición

La composición del trigo puede variar según la región, las condiciones de cultivo y el año de cosecha (León & Rosell, 2007). Nutricionalmente los cereales son productos muy ricos en hidratos de carbono, entre los cuales se destaca el almidón; igualmente presentan cantidades importantes de proteínas, sobresale también el bajo contenido de lípidos y azúcares simples (Casp, 2014).

La Tabla 1. muestra la composición típica de la harina de trigo.

Tabla 1. Composición del grano de trigo.

Componente	Composición química (%)	
Humedad*	11,99	±0,28
Proteína *	12,38	±0,40
Albúmina	0,62 - 0,99	
Globulina	0,99 - 1,11	
Gliadina	6,19 - 7,42	
Glutenina	1,23 - 1,86	
Residuo insoluble***	0,37 - 0,74	
Almidón**	60 - 68	
Amilosa**	17,94	
Amilopectina**	82,06	
Grasa*	1,18	±0,11
Fibra*	3,15	±0,27
Fibra Insoluble*	2,96	±0,31
Fibra soluble*	0,5	±0,61

Fuentes: *Bae et al., 2014; **León & Rosell, 2007;

***García & Carbonero, 1983.

En general el grano de trigo contiene principalmente el almidón y la albúmina, la cascarilla está formada por varias capas y contiene sobre todo fibras y minerales. Finalmente, el germen contiene vitaminas, minerales y concentra albúmina y grasa, esto explica la relación

de contenido de almidón y proteínas comparada con los minerales, vitaminas y grasa en la harina de trigo (Martínez, 2010).

2.2 MAÍZ

2.2.1 Generalidades

El maíz (*Zea mays* L. ssp. *Mays*), pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta anual de gran talla, dotada de un amplio sistema radicular fibroso (León & Rosell, 2007). El grano de maíz es producto de una doble fecundación. El peso promedio del grano es de 350 mg y está integrado por tres partes principales (endospermo, germen y cascarilla o pericarpio (González, 2009)

El maíz constituye junto con la patata y la tapioca, las materias primas más importantes para la obtención de almidón, de jarabes de glucosa y de bebidas alcohólicas (Gálvez *et al.*, 2006). Esto se debe a que el maíz no constituye un alimento nutricionalmente balanceado, puesto que es deficiente en contenido de aminoácidos como lisina y triptófano (Fageer & El Tinay, 2004).

Se considera interesante que en Colombia existen razas de maíz idénticas en muchos aspectos a razas centroamericanas (FENALCE, 2015); sin embargo, la producción de maíz está amenazada por el comportamiento de los precios internacionales, además de la sequía de zonas como Córdoba, la zona andina, los Santanderes, la Guajira y el sur del Cesar que ha afectado a este cultivo de ciclo corto (FENALCE, 2014). Pese a esta situación, el maíz continúa siendo el segundo cultivo en superficie cultivada en Colombia y se ha proyectado que la rentabilidad de cultivo hasta el 2022 pueda incrementarse en un 11% efectivo anual (FENALCE, 2012), en el mundo se espera un incremento de 22% en cereales secundarios hasta la misma fecha; un panorama favorable respecto al trigo cuyas expectativas de crecimiento mundial no sobrepasan el 16% (Gómez *et al.*, 2013).

2.2.2 Harina de Maíz

La harina de maíz se produce mediante la molienda seca del maíz y proporciona a las masas capacidad de absorción de agua sin aportar firmeza a la misma (Matz, 1999). Es comúnmente usada para elaborar alimentos extruídos (Madeira *et al.*, 2014).

El aporte nutritivo de la harina de maíz es principalmente por su contenido proteico y de hidratos de carbono, su principal ventaja es la falta de gluten; sin embargo, resultan inadecuadas como ingrediente exclusivo en la fabricación de pan, por lo cual deben combinarse con harinas panificables (León & Rosell, 2007)

2.2.3 Composición

Debido a su diversidad genética, los maíces no tienen la misma composición química, presentan diferencias en sus propiedades y utilización final. Por esto, el maíz puede utilizarse en productos diversos como hojuelas para el desayuno y su almidón como materia prima de otras industrias (Méndez-Montevalvo *et al.*, 2005).

La composición química del maíz se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química del maíz

Componente	Composición química (%)	
Humedad**	15	±0,28
Proteína **	7,8	±0,40
Albúmina**	0,624	
Globulina**	0,702	
Gliadina **	3,042	
Glutenina**	3,12	
Almidón*	68	
Amilosa*	23,8	
Amilopectina*	76,1	
Grasa**	3,8	±0,11
Fibra***	7,29	±0,28
Fibra Insoluble***	1,83	±0,59
Fibra soluble***	5,45	±0,17

Fuente: *Cornejo *et al.*, 2010; **Rivas *et al.*, 2003;
***Shukla & Cheryan, 2001.

En general, el maíz presenta un bajo contenido proteico, aunque existen variedades con un mayor porcentaje, el componente destacable de este grano son los lípidos que se concentran en el germen, y es utilizado por empresas que se dedican a la extracción y comercialización de aceite de maíz (Casp, 2014). La composición general de maíz se presenta en rangos, pues influyen en la distribución química, características como el genotipo, el área y temperatura de siembra, el tamaño del grano entre otros.

2.3 GARBANZO

2.3.1 Generalidades

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una especie dicotiledónea anual que pertenece a la familia de las fabáceas. Dentro del género *Cicer*, se han reportado 43 especies: nueve

anuales, 33 perennes y una no especificada (FENALCE, 2015a). La forma, tamaño y color del grano del garbanzo varía según su origen y se agrupan en dos tipos: “kabuli”, que corresponde a aquellos que provienen del mediterráneo, sus granos son grandes y claros. El tipo “desi” corresponde a aquellos de origen indio y sus granos son oscuros y pequeños (Miao *et al.*, 2009; León & Rosell, 2007)

Entre los usos más importantes del garbanzo en Colombia se encuentra el uso de granos verdes para ser consumidos crudos, cocidos o asados; granos secos, enteros o partidos, para ser usados en diferentes comidas y harina para su utilización en la producción de pan (FENALCE, 2015a).

2.3.2 Harina de garbanzo

La harina de garbanzo se obtiene mediante la molienda seca del grano. Esta harina tiene potencial como enriquecedor del contenido de proteína de productos de panificación (Mohammed *et al.*, 2012).

2.3.3 Composición

La Tabla 3 muestra la composición aproximada de los granos de garbanzo.

Tabla 3. Composición de garbanzo

Componente	Composición química (%)	
Humedad**	10,9	±0,5
Proteína *	24,9	±0,05
Albúmina**	4,08	
Globulina**	10,54	
Gliadina **	0,12	
Glutenina**	2,52	
Almidón*	49,3	
Amilosa*	23,1	±3,9
Amilopectina*	76,9	
Grasa*	6,8	
Fibra*	22,9	±0,2
Fibra Insoluble*	15,4	±0,8
Fibra soluble*	7,5	±0,4

Fuentes: *Sanjeeva *et al.*, 2010; **Da Silva *et al.*, 2001.

Debido a su alto contenido de proteína y a la formación cristalina del almidón, esta harina tiene un bajo poder de hinchamiento comparado con otras harinas (Kaur & Singh, 2005). Este es un campo de estudio novedoso debido a la disponibilidad de las proteínas del garbanzo y su potencial uso como fortificador de alimentos (Miao *et al.*, 2009).

2.4 FIBRA DE PIÑA

2.4.1 Generalidades

La fibra de piña obtenida a partir de los desechos de las cáscaras de piña, tiene varios beneficios como materia prima para otros productos, tanto en el campo de alimentos como en la obtención de polímeros biodegradables (Moya *et al.*, 1995).

El cultivo de la piña genera una cantidad importante de subproductos que pueden ser conservados y utilizados en la alimentación animal y humana (López *et al.*, 2014). Durante los últimos años, el comportamiento de la piña en el mercado local y externo se ha incrementado, en los últimos cinco años la producción mundial y colombiana ha aumentado un 11 y 33% respectivamente (Asociación Hortifrutícola de Colombia, 2013).

Así como ha crecido la producción y la comercialización de la piña, se observa un incremento en la cantidad de subproductos que se obtienen de su cultivo e industrialización, entre los que se encuentran las cáscaras de piña (López *et al.*, 2014). La mayoría de los desechos generados en Colombia, provienen de la industrialización de productos tradicionales como el café y banano, los no tradicionales corresponden a la piña y a la naranja, entre otros (Quesada *et al.*, 2005).

2.4.2 Polvo de fibra de piña

Los polvos obtenidos a partir de subproductos de fruta, han sido de interés general ya que presentan altos niveles de fibra dietética soluble e insoluble, a las que se han relacionado con efectos beneficiosos para la salud (Ramírez & De Delahaye, 2009).

2.4.3 Composición

La fibra de las frutas está conformada básicamente por celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas; su valor suele ser inferior a 2% (p/p) (Quesada *et al.*, 2005). En la cáscara de piña se han encontrado valores de fibra dietética de 70.6% (p/p), asociada a un elevado contenido de miricetina, principal polifenol identificado, y que puede ser el responsable de la actividad antioxidante encontrada en este subproducto (Ramírez & De Delahaye, 2009).

En general, la composición del polvo obtenido a partir de las cáscaras de piña se ha estudiado como una alternativa para fortificación de alimentos y sustitución de gluten, en la Tabla 4 se muestra la composición general de este producto (Umaña *et al.* 2013)

Tabla 4. Composición de polvo de cáscaras de piña

Componentes	Composición química (%)
Humedad	5,85±0,31
Proteína	6,19±0,21
Carbohidratos	83,77±0,14
Extracto etéreo	0,29±0,01
Cenizas	3,90±0,04

Fuente: Umaña *et al.*, 2013.

Debido a que el factor más importante en el polvo de piña es la fibra que contiene, en la Tabla 5 se muestra un perfil bromatológico de cáscaras de piña.

Tabla 5. Contenido de fibra en polvo de fibra de piña.

	Contenido % (base seca)
Fibra insoluble	11,57
Fibra soluble	2,08
Fibra total	13,65
Lignina	12,45
Celulosa	19,41
Hemicelulosa	18,63

Fuente: Elizondo & Campos, 2014;
Ramírez & De Delahaye, 2009.

2.5 HARINAS COMPUESTAS

El término de harinas compuestas fue creado en 1964 por la Organización para la agricultura y la Alimentación (FAO), cuando se reconoció la necesidad de buscar una solución para los países que no producen trigo (Elías, 1999).

Se empezó utilizando la tecnología de harinas compuestas para demostrar el procedimiento de mezclar harina de trigo con harinas de cereales y leguminosas para hacer panes y galletas. Sin embargo, la mezcla de harinas de harinas de otros cereales, de raíces y tubérculos, de leguminosas u otras materias primas, puede también considerarse como una tecnología de harinas compuestas. Como ejemplo se puede citar el uso de la harina de sorgo y maíz para hacer tortillas (FAO, 1995).

Sobre la base de que las harinas compuestas pueden prepararse también a base de otros cereales diferentes al trigo o de otras fuentes de origen vegetal, y que pueden o no contener harina de trigo, se describen dos clases de harinas compuestas. Una conocida como harina de trigo diluida, en la cual la harina de trigo se sustituye por otras harinas, por lo que las condiciones de procesamiento y el producto final obtenido son comparables a productos preparados a base de sólo trigo. La segunda clase está representada por harinas compuestas que no contienen trigo y están hechas de harinas de tubérculos y una proteína suplementaria (Elías, 1999).

El diluir la harina de trigo con otros cereales y cultivos de raíces resulta conveniente, pues se estimula el sector agrícola y se reducen las importaciones de trigo en muchos países en desarrollo (FAO, 1995). Teniendo en cuenta que se prevé un consumo de trigo de 484 millones de toneladas en países en desarrollo, la mayoría producto de importaciones, además que la producción de cereales secundarios presentará una expansión en producción, convierten a la tecnología de harinas compuestas en un negocio viable con magníficas promesas (Gómez *et al.*, 2013).

2.6 ALIMENTOS LIBRES DE GLUTEN

Los productos de panificación son una parte importante en la alimentación diaria, tanto por sus ingredientes funcionales como la fibra o algunos micronutrientes añadidos a las harinas. Las posibilidades del pan como alimento funcional son extraordinarias (Umaña *et al.*, 2013). Sin embargo existe una población que presenta una patología gastrointestinal causada por una intolerancia total y permanente a las proteínas del gluten, es decir, a las fracciones proteicas del trigo, avena, cebada y centeno, denominados celíacos (García, 2006)

El desarrollo de productos seguros para la población celíaca es un campo extenso de estudio, pues se ha identificado que alrededor del 3% de la población mundial padece esta patología (Umaña *et al.*, 2013).

Por esto, es imprescindible el estudio de materiales alternativos con valor nutricional, libre de gluten y con alta aceptabilidad sensorial por parte del consumidor. La necesidad de buscar harinas de elementos alternativos vegetales que puedan complementar no solo en la calidad nutricional sino también en el aspecto tecnológico y desarrollo de nuevos productos, es una preocupación de la industria actual (García, 2006). La utilización de granos enteros y en harina, de leguminosas y otros vegetales, está siendo tema de estudio en el desarrollo de nuevos productos (Umaña *et al.*, 2013).

2.7 CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS Y LAS MEZCLAS

2.7.1 Molienda

La molturación o molienda es el proceso por el cual se reduce el tamaño de partícula de un material. En el caso de los cereales, puesto que son productos relativamente blandos, la molturación puede ser llevada a cabo por distintos dispositivos, como molinos de martillos, cilindros, de piedra, etc., con los cuales se obtienen harinas integrales. Sin embargo, en la industria de cereales, además de reducir el tamaño de partícula de los mismos, se realiza

una separación de las partes externas del grano, con el fin de obtener harinas blancas o refinadas. Las harinas blancas presentan un menor valor nutricional, por su menor contenido de proteínas, lípidos, fibra, minerales y vitaminas, pero tienen una mayor vida útil y son más aptas para los procesos de transformación posteriores (Casp, 2014).

En la industria harinera, la obtención de la harina inicia con la limpieza del grano seguidamente de la recepción en la industria. Luego se procede a un acondicionamiento, que puede variar según la naturaleza de la materia prima, por ejemplo, el trigo se humedece antes de la molturación mientras que en el maíz se reduce la humedad hasta niveles de 20-22%. Luego, el grano pasa a la primera fase de la molienda, la trituration, en la cual se separa el salvado del endospermo y se produce cierta reducción del tamaño de partícula. En la segunda fase, denominada compresión, se reduce el tamaño de partícula del endospermo, aunque todavía debe eliminarse cierta cantidad de salvado y el germen. Tanto en la fase de trituration como en cada una de las molturaciones aplicadas, los productos obtenidos pasan por equipos especiales para separar las diferentes fracciones y redirigirlas al molino correspondiente o a los silos de producto terminado. Cereales como el arroz, la cebada o la avena, deben sufrir un proceso de descascarillado antes de la molienda. En el caso del maíz, los granos pasan por equipos especiales, con el fin de realizar una separación limpia del salvado y el endospermo, antes de su molturación final (Casp, 2014).

Aunque las harinas integrales constituyen una fracción minoritaria frente a las harinas refinadas, sus cualidades nutricionales y la mayor conciencia de los consumidores en temas de salud, han incrementado los niveles de popularidad (Casp, 2014).

2.7.2 Granulometría

Las propiedades físicas de un producto pulverulento están directamente relacionadas con el tamaño de las partículas. Por lo tanto, la descripción de un producto en polvo es incompleta, sino se presentan los datos de distribución granulométrica (Leite & Caetano, 2010). Las características granulométricas de una materia prima procesada, constituyen un aspecto importante en la formulación de productos de panificación, ya que una distribución adecuada de partículas, permite una mayor uniformidad del producto final (Souza, 2010).

La distribución granulométrica puede representarse en forma gráfica, por la frecuencia relativa o relativa acumulada, o a través de histogramas de frecuencia de tamaño en determinados intervalos (Leite & Caetano, 2010).

2.7.2.1 Módulo de fineza (MF)

El módulo de fineza está representado por un índice que puede correlacionarse positivamente con un aumento del tamaño de las partículas, indicando cuanto más gruesa

o más fina es una harina (Souza, 2010). El módulo de fineza es definido como la suma de los porcentajes de peso de las fracciones retenidas en cada tamiz, dividido por cien tal como se expresa en la ecuación 1 (ASAE, 2008)

$$MF = \frac{\sum i \times W_i}{100} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo,

W_i =Fracción de peso retenido en cada tamiz.

$i=0, 1, 2, \dots, n$ Factor de ponderación en orden creciente, siendo cero para el colector.

2.7.2.2 Diámetro promedio (D)

El diámetro promedio geométrico permite medir la tendencia central del tamaño de partícula de un alimento pulverulento, el cual se calcula siguiendo el método para determinar y expresar la finura del material de alimentación por tamizado, descrito en la norma ASAE S319.3 de 2008. El diámetro promedio geométrico se calcula con la ecuación 2.

$$dgw = \log^{-1} \left(\frac{\sum_{i=0} (W_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=0} W_i} \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde,

W_i =Fracción de peso retenido en cada tamiz.

$\bar{d}_i = (d_i + d_{i+1})^{1/2}$; d_i :Tamaño nominal de apertura del tamiz i y d_{i+1} : Tamaño nominal de apertura del tamiz del conjunto que se encuentra por encima.

2.7.3 Índice de Solubilidad de Agua (ISA), Índice de Absorción de Agua (IAA) y Poder de Hinchamiento (PH)

Las pruebas de Índice de Solubilidad de Agua (ISA), Índice de Absorción de Agua (IAA) y Poder de Hinchamiento (PH), son utilizadas como un nivel indicativo de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos (Rodríguez *et al.*, 2012).

El Índice de absorción de agua indica la cantidad de agua absorbida por los gránulos de almidón hinchados y/o embebidos en agua (Cauvain & Young, 2002), y al igual que el Poder de Hinchamiento, está relacionado con las propiedades de hidratación de la harina (Barbosa *et al.*, 2011)

El Poder de Hinchamiento, se define como la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua.

El Índice de solubilidad está relacionado con la cantidad de sólidos solubles en una muestra seca, permitiendo verificar el grado de severidad del tratamiento térmico, en función de la degradación, gelatinización, dextrinización y consecuente solubilización del almidón (Carvalho *et al.*, 2010).

2.7.4 Reología

La reología se ocupa de cómo corresponden los distintos materiales a las fuerzas y a las deformaciones aplicadas. En el desarrollo de los métodos reológicos, se asume que el material es homogéneo e isótropo, implicando que el material se encuentra bien mezclado y es semejante en su composición; además, se asume que su respuesta a una deformación o a una fuerza, es independiente de la dirección de aplicación (Nielsen, 2008).

2.7.4.1 Esfuerzo de corte (σ)

El esfuerzo aplicado a un material se define como la fuerza (F) por unidad de área (A) y se expresa en unidades de Pascales (Pa) (Ibarz & Barbosa, 2005). La dirección de la fuerza con respecto al área superficial sobre la cual se ejerce, determina el tipo de esfuerzo. Si la fuerza se ejerce en una dirección perpendicular a una superficial, resulta un esfuerzo normal y esto puede tener lugar como tensión o como compresión. En caso de que la fuerza actúe en una dirección paralela a la superficie de la muestra, se experimenta un esfuerzo de cizalladura (Nielsen, 2008).

2.7.4.2 Velocidad de corte ($\dot{\gamma}$)

Las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre la fuerza o sistema de fuerzas externas (σ) y su respuesta, ya sea como deformación o flujo, que está representada como una cantidad adimensional (Ibarz & Barbosa, 2005). En materiales líquidos, la cuantificación de la deformación es difícil de cuantificar, ya que un fluido expuesto a la cizalladura, presenta una deformación irreversible, debido a que la deformación permanece en los fluidos. Por consiguiente, se utiliza normalmente, una velocidad de cizalladura o de deformación ($\dot{\gamma}$) para cuantificar la deformación durante el flujo del fluido. La velocidad de cizalladura es el grado de deformación con respecto al tiempo, con unidades de s^{-1} (Nielsen, 2008).

2.7.4.3 Viscosidad aparente (μ)

La viscosidad se define como una medida de la resistencia a la deformación del fluido (Ramírez, 2006). Para los fluidos, la deformación se mide en términos de la velocidad de cizalladura, el esfuerzo de cizalladura puede ser expresada como alguna función de la

velocidad de cizalladura y la viscosidad, tal como se muestra en la ecuación 3 (Nielsen, 2008).

$$\sigma = \mu \dot{\gamma} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Para los fluidos newtonianos, la función de viscosidad es una constante que se denomina cociente de viscosidad o viscosidad newtoniana (μ) (Nielsen, 2008). Para los fluidos no newtonianos, no funciona de la misma manera, ya que la relación entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de deformación no es constante. La función de viscosidad, recibe el nombre de viscosidad aparente y es función de la velocidad de deformación, esta se muestra en la ecuación 4 (Ibarz & Barbosa, 2005).

$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

2.7.4.4 Comportamiento del fluido

En caso de que la viscosidad disminuya conforma aumenta la velocidad de cizalladura, se denomina al material como fluidizante o pseudoplástico, si por el contrario el material aumenta su viscosidad, se denomina espesante o dilatante. La pseudoplasticidad y la dilatancia son propiedades independientes del tiempo. Los materiales que se fluidifican o se espesan con el tiempo; se conocen como líquidos tixotrópicos y antitixotrópicos respectivamente (Nielsen, 2008).

En las Figuras 1 y 2, se muestran los tipos de fluidos mediante la relación entre esfuerzo y velocidad de deformación o cizalladura, para fluidos cuya viscosidad es independiente del tiempo y cuya viscosidad es dependiente del tiempo, respectivamente (Ramírez, 2006).

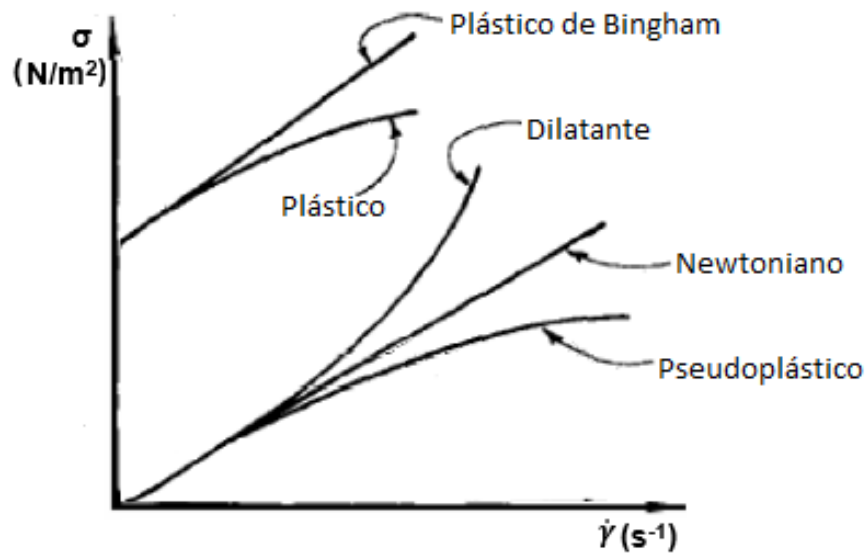


Figura 1. Esfuerzo frente a velocidad de cizalladura para fluidos independientes del tiempo.

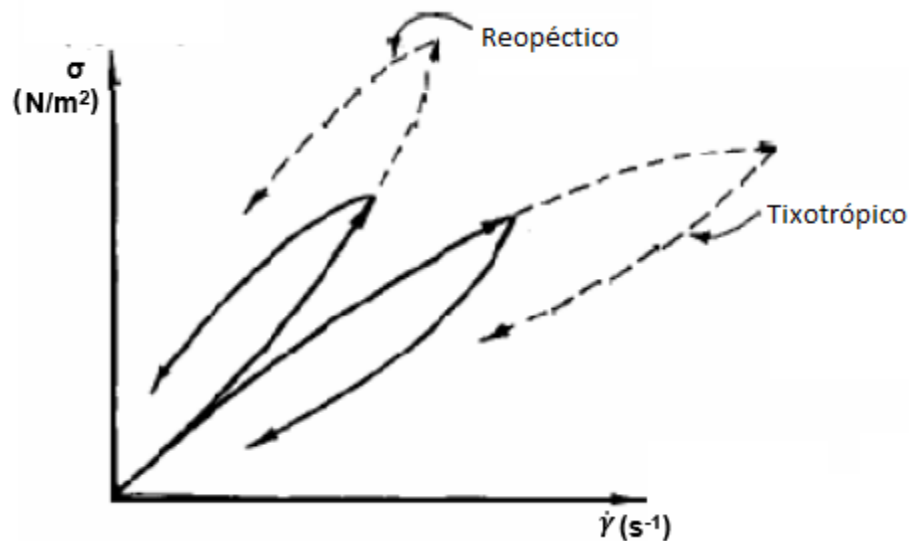


Figura 2. Esfuerzo frente a velocidad de cizalladura para dos clases de fluidos no newtonianos, dependientes del tiempo.

2.7.4.5 Medición de la viscosidad

Los reómetros son aparatos utilizados para la determinación de las propiedades reológicas de los materiales. El modo principal para la medición reológica de los fluidos en la industria alimentaria es la viscosimetría rotacional, la cual proporciona una información rápida y fundamental. La viscosimetría rotacional incluye un accesorio de ensayo (de forma geométrica conocida) en contacto con una muestra y por medio de algún medio mecánico rotatorio, el fluido es cizallado por el accesorio (Nielsen, 2008).

En el caso puntual de los viscosímetros de cilindros coaxiales, el principio consiste en colocar un cilindro dentro de otro cilindro, siendo ambos coaxiales. El líquido está situado entre los dos cilindros y uno se pone en rotación mientras que el segundo permanece fijo. El líquido está sometido a una cizalla. Se mide el valor del par resistente que se ejerce sobre el cilindro (Roudot, 2004).

2.8 DESARROLLO DE PRODUCTOS DE PANADERÍA

2.8.1 Productos de panadería: Galletas y pan

2.8.1.1 Funcionalidad de los ingredientes

2.8.1.1.1 Harina

Las harinas son la materia básica para la preparación del pan, galletas, pastas alimenticias, etc., las cuales se obtienen por molturación del trigo limpio u otros cereales y leguminosas. La harina sin otro calificativo, se entiende siempre como procedente del trigo, por lo que cuando se trata de harinas de otros productos, se debe indicar su procedencia (Madrid, 2010). En el caso de la harina para panificación, la elección adecuada y su regularidad son claves para el buen desarrollo del proceso y la calidad de los productos obtenidos. En general, el componente más importante de las harinas para los procesos de panificación es la proteína; por ello, se destacan las proteínas presentes en el endospermo del trigo, siendo las únicas capaces de formar una red de gluten capaz de dar coherencia a las masas, de manera que se puedan estirar, laminar y manipular sin problemas, y de retener el gas producido en la fermentación (Casp, 2014).

Por otro lado, en la elaboración de bizcochos y otros productos basados en masas batidas, la harina contribuye a crear la estructura de la miga e interviene en los procesos de aumento de volumen. En estos productos no llega a formarse una red de gluten estable y el volumen alcanzado, por lo que a diferencia de los panes, no dependen tanto de las proteínas de la harina (Casp, 2014).

A nivel mundial la elaboración de los productos de panificación, se ha extendido a países donde la harina de trigo no es muy abundante o constituye una materia prima de elevados costos de importación. En consecuencia, se ha considerado la incorporación de harinas distintas a las de trigo, permitiendo no solo reducir los costos, sino conseguir propiedades organolépticas especiales (Casp, 2014; Manley, 1989).

2.8.1.1.2 Agua

El agua es el ingrediente más económico en las formulaciones de panificación y a pesar de que puede diferir en su composición en sales minerales, en dureza y en pH, el único requisito para que el agua pueda ser usada en las diferentes tipos de elaboraciones, es que sea potable y no aporte sabores, olores o colores extraños al producto final (Casp, 2014).

Si bien, el agua no es considerada un nutriente, juega un papel importante, ya que se convierte en un medio para que las reacciones físicas, químicas, bioquímicas y biológicas ocurran durante el proceso. Dentro de las principales funciones del agua se encuentran: hidratación de los ingredientes secos que intervienen en la elaboración de la masa, hidratación de las proteínas insolubles de la harina permitiendo la formación de gluten, actúa como transportador de sabor de ingredientes solubles, ayuda a controlar la temperatura y la textura de las masas y controla la fermentación de acuerdo a su pH y temperatura, ya que las levaduras tienen un pH óptimo de actividad (Casp, 2014).

2.8.1.1.3 Levadura

Las levaduras que se utilizan en panadería son microorganismos facultativos, que pertenecen a la familia de *Sacharomyces*, científicamente se conocen como *Sacharomyces cerevisiae*. La levadura no solo influye en la fermentación sino también en las condiciones de la masa para su trabajo (Cipriani, 2012). Las levaduras se producen mejor en condiciones aerobias y en condiciones anaerobias son capaces de transformar ciertos azúcares en CO₂ y etanol, con desprendimiento de calor. Los azúcares fermentables por parte de la levadura de panadería son glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa. En presencia de todos ellos, la levadura comienza a transformar la glucosa y la fructosa, y continúa con la sacarosa, ya que la levadura presenta una enzima, invertasa, que rompe esta molécula en unidades de glucosa y fructosa en el exterior de la célula, para luego transformar dichos monosacáridos. La maltosa es el último azúcar en ser transformado, ya que debe penetrar al interior de la célula para ser hidrolizado en dos unidades de glucosa por la maltasa (Casp, 2014). Finalmente, la zimasa se encarga de la conversión de las unidades de glucosa en alcohol y gas carbónico (Cipriani, 2012).

La levadura se encarga de la producción de gas carbónico en cantidad suficiente y en el momento oportuno para la fermentación de la masa, dando como resultado una estructura ligera y esponjosa, que después de horneado se convierte en un producto suave y digerible. Del mismo modo, produce fermentaciones no solo alcohólicas sino lácticas, otorgándole al producto final el sabor característico. Por último, facilita los cambios esenciales en la estructura del gluten, conocidos como la maduración de la masa (Cipriani, 2012).

2.8.1.1.4 Sal

La sal es un ingrediente fundamental en la elaboración de pan, pues además de ser un saborizante, ya que aporta sabor ligeramente salado y potencia el resto de los sabores, modifica la reología de las masas incrementando su fuerza y tenacidad, dando lugar a migas menos blanquecinas y cortezas más brillantes, e igualmente, reduce ligeramente la acción de las levaduras. El efecto sobre la reología se debe a la modificación de la red de gluten, retrasando su formación y por tanto, incrementando el tiempo necesario de amasado. Su efecto sobre el color de la miga, se debe a sus propiedades antioxidantes, ya que los pigmentos responsables del color cremoso de la harina pierden esta coloración al oxidarse (Casp, 2014).

La influencia de la sal en la fermentación de la masa, se atribuye a su acción reguladora de la fermentación alcohólica, el control sobre la actividad enzimática y la acción de la levadura, ya que un exceso de sal retarda la fermentación y poca la acelera. Por lo tanto, el porcentaje de sal a usar depende de las características de la harina, la fórmula a elaborar (sal o dulce), el tiempo de fermentación, el sabor deseado del producto terminado y el contenido de agua mineral; sin embargo, se recomienda usar entre el 1,5 a 2% para masas de sal y entre 0,5 a 1% para masas dulces (Cipriani, 2012).

2.8.1.1.5 Azúcar

En general, los azúcares tienen una función edulcorante, pero además constituyen un sustrato para la fermentación, influyen en el color y aroma de los productos, por medio de las reacciones de Maillard y de caramelización, modifican la reología de las masas y la textura de los productos, e incrementan su vida útil. La influencia del azúcar sobre el volumen del producto final es decisiva, puesto que juega un papel triple, facilita la incorporación de aire e incrementa la viscosidad durante el mezclado y retrasa la temperatura de gelatinización de los almidones, facilitando su expansión. Sin embargo, se debe tener en cuenta, que la adición de azúcar retrasa la formación de la red de gluten, al competir con las proteínas por el agua libre, obligando al incremento de los tiempos de amasado (Casp, 2014).

2.8.1.1.6 Grasas

Principalmente, se emplea margarina en las formulaciones de panadería, siendo ésta una alternativa de la mantequilla que nació como necesidad de conseguir un producto más económico y fácil de usar (Cipriani, 2012). La adición de grasa en las masas panarias tiene efectos importantes en el procesamiento de las mismas y en la calidad del producto terminado. Estas masas son más extensibles, más estables y resistentes al final de la fermentación, presentan un incremento mayor del volumen durante el horneado, ya que la grasa retrasa

la gelatinización del almidón y la desnaturalización del gluten, por lo que se obtienen panes con mayor volumen y una textura más suave y jugosa (Casp, 2014).

Con respecto a las galletas, cumple una función esencial en la incorporación de aire a la masa e influye en la consistencia y pegajosidad de la masa; por lo general, reducción del porcentaje de grasa, se traduce en galletas con mayor fracturabilidad y dureza (Casp, 2014).

2.8.1.1.7 Mejorador enzimático de harinas

Las enzimas son catalizadores biológicos presentes en la naturaleza y por tanto, son capaces de acelerar la velocidad de ciertas reacciones químicas. La mayoría de las enzimas suelen ejercer su máxima actividad a temperaturas en torno a 40-60°C, inactivándose cuando la temperatura alcanza cierto nivel. Por lo tanto, las enzimas utilizadas en la panificación empiezan a actuar durante el amasado, al ponerse en contacto con los sustratos y continúan su actuación durante la fermentación y las primeras fases del horneado. La intensidad de acción de las enzimas dependerá de la temperatura de procesado, del pH de la masa y del tiempo durante el que pueda ejercer su acción (Casp, 2014).

Las enzimas más utilizadas son las amilasas, en concreto las alfa y beta amilasas, las cuales actúan sobre el almidón de forma diferente. La alfa amilasa actúa en el almidón dañado, produciendo dextrinas, mientras que la beta amilasa actúa sobre las dextrinas produciendo azúcares para el proceso de fermentación. El uso de amilasas mejora las características de la harina, produce azúcares para la acción fermentativa de la levadura y provee el color en la superficie de los panes (Cipriani, 2012).

2.8.1.1.8 Polvo de hornear

Cuando cualquier alimento que ya contiene ácido en solución y se combina con el bicarbonato de sodio, ya disueltos en un líquido frío, el ácido rápidamente libera el dióxido de carbono del bicarbonato y se forma una sal del ácido con el gas. Sin embargo, a menos que tanto el ácido como el bicarbonato estén en soluciones e ionizados, los dos no reaccionan. El polvo de hornear es una mezcla de bicarbonato y ácido seco, que aprovecha dicha ventaja. Se debe tener en cuenta que entre más rápido actúe el polvo de hornear, menos será la tolerancia de un batido o masa al mezclado (Durán & Días, 2007).

2.8.1.1.9 Saborizantes

A los productos horneados se les puede incorporar saborizantes en tres formas: incluyendo el saborizante en la masa o batido antes de trabajarla, espolvoreando o rociando el saborizante después de amasar y saborizando una parte que no entra en la confección

panaria propiamente dicha, como el relleno. En cada caso, el portador de sabor que se utilice, debe ser adecuado para soportar las condiciones físicas a las que se ha de someter. En la amplia categoría de saborizantes se incluyen, aceites esenciales extraídos de tejidos vegetales, mezclas de sustancias sintéticas aromáticas y materiales naturales que mediante tratamientos se transforman en sustancias de aroma fuerte y agradable; por ejemplo, especias y hierbas secas y molidas, frutos secos y troceados, etc. (Manley, 1989).

2.8.1.2 Galletas

Dentro de este término se encuentra una gran variedad de productos llamados de formas diversas, pero con elementos en común. En primer lugar, para su elaboración se parte de una masa o batido basado en harina de cereal, fundamentalmente harina de trigo. En segundo lugar, son productos de baja humedad, inferior al 5% y por lo tanto, con una gran vida útil, siempre que se envasen adecuadamente y no se humedezcan a consecuencia de una atmósfera excesivamente húmeda. Y en tercer lugar, además de la harina, los ingredientes mayoritarios son las grasas y los azúcares (Casp, 2014).

2.8.1.2.1 Proceso de elaboración de las galletas

En general, casi todas las galletas siguen un mismo esquema de procesado, que inicia con la dosificación de los ingredientes, el amasado, formado de las piezas, horneado, enfriado y envasado final. Cabe destacar, que en función del tipo de masa y del modo en que se forman las piezas se pueden obtener galletas de muy distintos tipos (Casp, 2014).

- Amasado, en la elaboración de galletas se pueden distinguir tres tipos de masas :
 - Masas duras: En este tipo de masas se desarrolla la red de gluten, por lo que es una masa similar a la de panadería, pero mucho más consistente. Es el tipo de masa de las galletas tipo María y de la mayoría de las craker.
 - Masas quebradas: Son las masas con un porcentaje de agua muy pequeño y con un amasado muy corto, por lo que apenas se llega a desarrollar el gluten. Esta masa adquiere una forma y consistencia bajo presión, pero se rompe fácilmente con la tensión, por lo que debe procesarse de forma diferente.
 - Masas batidas: Son masas con consistencia más líquida por su mayor contenido de agua o líquidos. Se utilizan en la elaboración de barquillos, obleas y pastas de té, elaboraciones en las que los batidos son depositados en moldes, planchas o cintas para su posterior horneado
- Formado, es considerado otro factor de diferencia entre los distintos tipos de galletas, para el cual se debe adaptar la formulación base (Casp, 2014).
 - Galletas troquel: Comienza formando una lámina de masa que pasa por varios rodillos calibradores para alcanzar su espesor final. Tras el laminado, las

galletas se cortan y en caso que sea necesario, se estampa sobre ellas el dibujo o leyenda deseada. Los recortes de masa producidos, se incorporan en el amasado o en la primera laminación. Suele usarse con masas duras; sin embargo, también pueden procesarse masas quebradas.

- Galletas de moldeo rotatorio: Esta técnica es más frecuente para la formación de masas quebradas y tiene la ventaja de ser más versátil, con lo que se puede obtener un mayor número de formas y relieves, elimina el problema del calibrado y no genera recortes.
 - Galletas de corte de alambre y deposición: Se trata de galletas obtenidas a partir de un proceso de extrusión, por lo que en ninguna de las masas preparadas para este tipo de galletas, se debe desarrollar la red de gluten, no obstante, se pueden procesar masas con distintas consistencias. Masas más consistentes, se cortan con un alambre, una vez extruidas, para luego ser depositadas. Tiene como ventaja frente al modelo rotatorio, el procesamiento de masas pegajosas como masas que incluyan partículas gruesas.
- Horneado, en el horneado de las galletas, se producen importantes modificaciones químicas y físicas que se traducen en tres cambios. Estos cambios son el desarrollo de una estructura porosa, junto a cambios de densidad, tamaño y forma de las piezas, una pérdida importante de humedad y el desarrollo de color y aromas. El proceso de horneado se puede dividir en tres fases, en la primera fase se produce la expansión de la masa y comienza el proceso de pérdida de humedad. En la segunda fase, ambos fenómenos alcanzan su máximo y comienza a desarrollarse el color y el aroma propio de las galletas hacia el final de esta parte. Por último, se termina de desarrollar el color y el aroma, las galletas reducen ligeramente su grosor y la tasa de pérdida de humedad se reduce. Todo este proceso se realiza en un tiempo muy corto, entre 2 y 15 minutos, y dependerá de factores como la temperatura del horno, el porcentaje de humedad, la circulación del aire, etc. (Casp, 2014).

2.8.1.3 Pan

El pan es uno de los productos más consumidos en Occidente y ha constituido la base de la alimentación de una gran parte de la humanidad (Casp, 2014). El pan se define como el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propias de la fermentación panaria, como *Sacharomyces cerevisiae*. Cuando se elabora a partir de otras harinas, se le denomina al pan con el apelativo correspondiente a la clase de cereal que se utiliza (Madrid, 2010).

2.8.1.3.1 Métodos de Panificación

Existen distintos métodos de panificación, cuya elección depende del tipo de pan que se va a elaborar y de los medios con lo que cuenta el panadero o la industria. Dichos métodos pueden agruparse en cuatro amplios grupos: (Cauvain & Young, 2002)

- **Fermentación de la masa o método directo:** En este método todos los ingredientes se mezclan en un solo paso y donde lo normal es dejar reposar todo el volumen de masa preparado tras la mezcla y el amasado y antes de la subdivisión de las piezas.
- **Esponja y masa:** En este método una parte de la masa se somete a un período de fermentación prolongado y ésta se añade luego a los restantes ingredientes para ser mezclados de nuevo y obtener así el volumen final de la masa panaria.
- **Procesado rápido:** En este método no existe o es muy corto el período de fermentación de la masa después del amasado, debido a la inclusión de diversos aditivos (Cauvain & Young, 2002).
- **Desarrollo mecánico de la masa:** En este método la función primaria del amasado es aportar energía suficiente que facilite el desarrollo de la masa, la que después pasa directamente de la amasadora a la divisora (Cauvain & Young, 2002). Este proceso desarrollado en 1961, conocido por como CBP por sus siglas en inglés (Chorleywood Bread Process), permite ahorrar costos de producción al reducir el tiempo de procesado; además, produce mejores panes en cuanto a volumen y color (Brennan, 2006).

2.8.1.3.2 Proceso de elaboración del pan

En general, la elaboración del pan comienza al mezclar los ingredientes hasta formar una masa, la cual una vez formada debe fermentarse, para finalmente ser introducidas en el horno, donde se crea la estructura final de la miga y la corteza, y se obtiene el color final del producto (Casp, 2014).

- **Amasado:** El amasado es la primera fase del proceso y tiene tres funciones principales, mezclar e hidratar los ingredientes de la masa, desarrollar la masa e incorporar aire a la misma (Brennan, 2006). Aunque el objetivo principal es el desarrollo de la red de gluten, puede llegar a ser negativo tanto como un escaso amasado como con el exceso, ya que puede producir relajamiento de la masa (Casp, 2014).

En general, las proteínas de trigo, gliadinas y gluteninas, tras humectarse e hincharse, interactúan entre ellas debido al trabajo mecánico aplicado, a través de enlaces débiles, como los puentes de hidrógeno, u otros más fuertes, como los enlaces disulfuro, generando la red de gluten. Cuando la red de gluten se ha desarrollado la masa puede estirarse formando una película muy fina y moldearse

adecuadamente (Casp, 2014). Dichas propiedades viscoelásticas, se deben en conjunto a las proteínas, la fracción de glutenina confiere a la masa sus propiedades elásticas, mientras que las gliadinas la hacen fluida y pegajosa; un balance adecuado de elementos elásticos y viscosos, es esencial en la masa, para elaborar un pan de buena calidad (Durán & Días, 2007).

En la primera fase del amasado, la cual conviene realizar a baja velocidad, las partículas de harina se hidratan al absorber agua, los ingredientes solubles, como el azúcar y la sal, se disuelven en la fase acuosa y los insolubles, como la grasa y las proteínas insolubles, quedan dispersos en la masa. Durante el amasado también se produce una incorporación del aire en la masa, que queda atrapado en forma de pequeñas burbujas, las cuales actúan como nucleantes, de forma que los gases formados durante la fermentación y el horneado se distribuirán entre las burbujas formadas en el amasado. Cabe destacar que en la fermentación no se crean nuevas burbujas; por tanto, si en el amasado el aire se dispersa de forma uniforme y fina, el alveolado final será más fino y regular. En general, la incorporación del aire se produce en las primeras fases del amasado, pero a medida que avanza éste, se modifica la distribución y el tamaño de las burbujas (Casp, 2014).

Además del desarrollo de la red de gluten, durante el amasado, se producen o inician algunos procesos bioquímicos importantes. Por una parte, las amilasas presentes en la harina se ponen en contacto con el almidón y comienzan a hidrolizarlo, generando dextrinas y maltosas. Al generarse azúcares fermentables y al estar en contacto con las levaduras, se marca el inicio de la fermentación; además, con la ligera oxigenación de la masa, se permite la adaptación de las levaduras al medio (Casp, 2014).

El tiempo de amasado depende de varios factores, como son: tipo de harina, tipo de amasadora, sistema (directo o esponja) y la proporción de cada ingrediente (Cipriani, 2012).

- **Procesos intermedios (pesaje, división y boleado):** Una vez amasada, la masa suele dividirse en piezas del peso adecuado y bolearse (Casp, 2014). El pesaje y la división se realizan con el fin de asegurar un rendimiento uniforme y porciones del mismo peso (Cipriani, 2012).

Una vez divididas, las piezas suelen recibir un leve trabajo mecánico para formar bolas con una superficie lisa y regular, y con el cierre en la parte inferior. Esta acción ha sido realizada por los panaderos tradicionalmente a mano, transformando piezas irregulares y pegajosas en porciones más regulares y con una superficie más lisa y menos pegajosa, que facilitan la homogeneidad del proceso, el procesado posterior y la retención del gas. Industrialmente esta operación se realiza con máquinas

boleadoras que pueden ser de tres tipos: con forma de cono, de sombrilla y de cilindro. Con cada tipo, la pieza de masa adecuadamente espolvoreada con harina, se fuerza a rotar en forma continua a lo largo de un canal (A.A.P.P.A., 2004).

- **Reposo intermedio:** Las piezas boleadas suelen sufrir un pequeño período de reposo antes del moldeado definitivo (Casp, 2014). Este tiempo de reposo es necesario ya que las operaciones de división y boleado conllevan al abuso físico de la masa desgasificándola y haciéndola no manejable (A.A.P.P.A., 2004). La masa se fermenta entre el amasado y el boleado, o entre el boleado y el formado final, y por tanto, se modifica el alveolado, lo cual influye directamente en la miga final del producto. Esta fermentación dependerá de la temperatura a la que se encuentre la masa y su objetivo principal es facilitar el manejo de la misma, al modificarse su reología y reducirse su pegajosidad, puesto que la masa se relaja tras las tensiones que ha sufrido en las operaciones anteriores, facilitando el formado posterior. La duración del reposo depende de la formulación empleada y de las operaciones anteriores, así como de las condiciones del mismo. La temperatura ideal para estos reposos se encuentra entre 27-29°C y la humedad debe estar en torno al 75%; por lo general, altas temperaturas y altas humedades, favorecen la pegajosidad de las masas, mientras que humedades demasiado bajas ayudan a que se forme una superficie más seca en las masas, lo que puede dificultar operaciones posteriores (Casp, 2014).
- **Moldeo:** Tiene como objeto darle forma a la masa según el tipo de presentación del pan, esta operación depende de la experiencia y práctica del panadero (Cipriani, 2012). Tras el reposo, la masa pasa al proceso de formación para obtener su forma final, en éste las bolas se laminan, no demasiado fino, y luego se realiza el enrollado de la lámina, una vez generado el cilindro, se dispondrá en moldes o latas según el producto desarrollado. En el proceso de formado, se produce una desgasificación de la masa y redistribuyen de los alveolos, cuya intensidad dependerá de la presión con la que se realice el laminado e influirá en el alveolado final. Para evitar problemas de pegajosidad durante el formado de las masas, algunas empresas recurren al enharinado o a la aplicación de corrientes de aire sobre la superficie del producto, pero estas técnicas deben ser controladas, porque pueden afectar la calidad del producto final (Casp, 2014).
- **Fermentación:** La fermentación panaria es el proceso realizado por las levaduras que transforman los azúcares fermentables, fundamentalmente glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa, en alcohol y CO₂. Como resultado de este proceso, las masas ya formadas incrementan su volumen entre un 200 y 400% y se incrementa el tamaño de los alveolos internos. Este proceso depende del pH de las masas y de la temperatura del medio, así como de la cantidad de levaduras presentes en la masa.

El pH óptimo para la fermentación se sitúa en torno a 6 y su temperatura cerca a los 40°C. Junto con la reacción principal, a lo largo del proceso fermentativo se produce otra serie de procesos bioquímicos importantes, entre ellos, las enzimas presentes en la masa actúan hidrolizando distintos componentes, las bacterias ácido lácticas actúan en la producción de ácido láctico a partir de glucosa, generándose una ligera acidificación de las masas. Todos estos fenómenos contribuyen a incrementar la vida útil de los panes, así como su aroma y sabor. En el proceso de fermentación, también es importante controlar la humedad de la cámara, con el fin de evitar las pérdidas de humedad de la masa, que afecta en especial las partes externas

Uno de los parámetros más importantes a controlar en el proceso de fermentación, es la temperatura. En general, a mayor temperatura de fermentación mayor acción de las levaduras y por tanto, mayor generación de gas y subida de las piezas. La temperatura de fermentación del pan suele estar alrededor de los 30°C en un tiempo entre 90-120 min. La producción de gas igualmente dependerá del tipo y cantidad de levadura, de la cantidad de azúcares fermentables y de la temperatura fundamentalmente; a su vez, la retención del gas dependerá de la calidad de la red proteica. Por ello, no solo es importante que esta red sea capaz de soportar el empuje de la masa reteniendo el gas generado, sino que ante un exceso de fermentación la masa no colapse y aunque se escape cierta cantidad de gas, la masa no pierda su volumen (Casp, 2014).

- **Horneado:** Durante el horneado se produce una serie de fenómenos que contribuyen al incremento del volumen del pan, a su sabor y aroma finales, a su color y a la creación de una textura diferenciada entre las zonas externas e internas de las piezas, generada por la desnaturalización proteica y la gelatinización parcial del almidón. En el horneado también se inactivan las levaduras y enzimas presentes en la masa. En una primera fase la temperatura asciende gradualmente desde la temperatura de fermentación hasta la de ebullición del agua, en esta fase las levaduras todavía se encuentran activas y por tanto, continúa la fermentación e incluso se acelera al comienzo del horneado, siempre que no se hayan agotado los azúcares fermentables. Además, se produciría la expansión de los gases presentes en la masa por efecto de la temperatura, lo que también favorece el crecimiento del volumen. Por ello, inicialmente se observa un incremento del volumen de las piezas en el horneado. Del mismo modo, el alcohol generado por las levaduras, se evaporará durante el proceso de cocción (Casp, 2014)..

La zona externa de las piezas comienza a secarse en las primeras fases del horneado, la desecación que depende de la temperatura de la cámara y de la ventilación. A medida que se seca la superficie, el agua del interior tiende a desplazarse hacia el exterior para reequilibrar la humedad; sin embargo, llega un momento en que la deshidratación en el exterior es más rápida y se va formando la

corteza de las piezas. En este punto, en la corteza se produce la desnaturalización proteica y las reacciones de Maillard, así como la caramelización de azúcares, reacciones que contribuyen al color final y aroma de las piezas. En el interior, el incremento de la temperatura no supera los 100°C, por la presencia de humedad, pero es suficiente para que se produzca la gelatinización parcial del almidón, elevando la consistencia de las masas cuando se alcanza este punto, marcando el final del incremento del volumen en las piezas (Casp, 2014).

Uno de los parámetros más importantes a controlar durante el horneado es la temperatura en el interior del horno; en general, las temperaturas de horneado suelen estar entre 190 y 235°C y la duración de la cocción entre 20 y 40 minutos (Casp, 2014).

En general, la temperatura de horneado depende del tamaño de la pieza y de la formulación. Por ello, cuanto mayor sea el tamaño y mayor sea la distancia entre la parte superficial y el centro, la temperatura de horneado debe ser menor y mayor el tiempo. Se debe tener en cuenta que uno de los factores que determinan el tiempo de horneado, es el color de la corteza. Las temperaturas de horneado también deben reducirse en formulaciones con incorporación de azúcares o productos lácteos, ya que incrementan las reacciones de coloración de la corteza, por lo que una temperatura más baja, reduce los riesgos de obtener panes con excesiva coloración. Debido a esto, es frecuente comenzar el horneado a temperaturas reducidas para minimizar las pérdidas de humedad e incrementar la temperatura de la zona media (Casp, 2014).

Las reacciones de coloración, de caramelización y de Maillard, tienen un papel determinante en la formación de color y aroma. Los azúcares simples presentes en la periferia de la masa funden a partir de 130-140°C e interreaccionan para dar por caramelización los productos de transformación coloreados hacia 180°C. La presencia de proteínas favorece la degradación del azúcar mediante la reacción de Maillard. Esta reacción entre los grupos amino libres de las proteínas presentes sobre las cadenas laterales de ciertos aminoácidos, particularmente lisina por su alta reactividad y los grupos C=O de los azúcares reductores, conducen a la formación de agua y de glicosilamina. La degradación de la última da origen a sustancias volátiles y a melanoidinas, responsables de las modificaciones aromáticas y de color (Jeantet *et al.*, 2010).

Tras el horneado es importante enfriar a temperatura ambiente las piezas antes del envasado, para que se produzcan los fenómenos de retrogradación del almidón y se termine de formar la miga, y para evitar condensaciones. El enfriamiento también mejora la capacidad de los panes para ser cortados, en el caso de que sea necesario (Casp, 2014).

2.9 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE LA MASA

2.9.1 Compresión uniaxial

La prueba de compresión uniaxial es uno de los ensayos más comunes para la medición de las propiedades de deformación de muchos materiales alimentarios. En este tipo de prueba, se requieren muestras de formas geométricas normalizadas, paralelepípedos o cilindros, obtenidas del producto a estudiar. Además, es importante considerar el paralelismo de las caras aplastadas y conocer la heterogeneidad y la posible anisotropía del producto. El ensayo consiste en aplastar una muestra lentamente entre dos platos paralelos en una máquina de ensayos adecuada y medir la fuerza en función de la velocidad de deformación constante (Roudot, 2004; Rosenthal, 2001).

Esta prueba se adapta especialmente a alimentos semisólidos altamente viscosos que requieren una fuerza de compresión para deformarlos, como son los casos de la masa de maíz, la mantequilla, la masa de trigo, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2005)

2.10 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DEL PRODUCTO

2.10.1 Color

Los tres aspectos principales para la aceptación de un alimento son el color, el sabor y la textura, sin embargo, muchos opinan que el color es el más importante, puesto que si un producto no tuviese una buena apariencia, el consumidor podría no llegar a juzgar nunca los otros dos aspectos. Independientemente de ello, el color es uno de los muchos aspectos de la presentación, tales como el brillo, el tamaño de partícula, el estado físico, el fondo, la iluminación, etc., pero bien pudiera ser el más importante (Nielsen, 2008).

El color, tal como lo percibe el ojo, es una interpretación por parte del cerebro del carácter de la luz procedente de un objeto. Históricamente, el color ha sido estimado visualmente y han sido dados a la luz una serie de atlas del color bien diseñados y estudiados, bajo el conocimiento que el color es tridimensional (Nielsen, 2008). Por lo que, para describir los colores se han desarrollado una variedad de sistemas, en los cuales el color tiene una disposición tridimensional de acuerdo a su apariencia. En el campo de los alimentos es ampliamente usado el espacio de color Hunter Lab, sistema que está basado en la medición de las tres coordenadas L^* , a^* y b^* . El valor de L^* representa la luminosidad y cambia desde 0 (negro) hasta 100 (blanco), el valor a^* cambia desde $-a^*$ (verdoso) hasta $+a^*$ (rojizo)

mientras que el valor b^* va desde $-b^*$ (azulado) a $+b^*$ (amarillento) (Sahin & Gülüm, 2009). Se debe tener en cuenta que los parámetros L^* , a^* y b^* no son variables independientes, dado que tanto a^* como b^* dependen de L^* (Nielsen, 2008).

Para especificar el color se conocen tres grandes dimensiones del color, las cuales corresponden a los atributos perceptuales de luminosidad (L), que hace referencia a la cantidad de luz de un color, proximidad al blanco o al negro; croma (C), que indica el grado de pureza de un color, que se acerca más al color puro correspondiente y el tono (h), siendo el color en sí, sin ningún tipo de alteración (Castañeda, 2005).

Los colorímetros triestímulos fueron diseñados para duplicar la respuesta del ojo humano al color, que consisten en una fuente de iluminación, tres filtros de vidrio cuyos espectros de transmisión reproduzcan las curvas de reflexión y una foto célula, disposición que permite obtener las coordenadas del sistema de color, el cual comprende dos conceptos, un sólido de color, refiriéndose a un espacio tridimensional acotado por límites físicos y un espacio de color, siendo el espacio en el interior de un sólido de color (Nielsen, 2008).

2.10.2 Volumen general y estructura de la miga del pan

El volumen es una de las características que se evalúan con más frecuencia para estimar la calidad externa del pan, al igual que las dimensiones, la apariencia, el color y la forma de la corteza (Cauvain & Young, 2002). Por tanto, el volumen es considerado un aspecto importante en la determinación de la calidad de los panes, siendo afectado por los ingredientes usados en la formulación de la masa, principalmente la harina y por los procesos utilizados en su fabricación (Moreira *et al.*, 2007). El método más normal para determinar el volumen total de producto es mediante el uso de alguna técnica apropiada de desplazamiento de semillas. El equipo normalmente comprende un contenedor de volumen conocido, que previamente se ha calibrado con una semilla adecuada, en el que el producto se introduce y después se rellena con las semillas desplazando un volumen de las mismas, igual al de la pieza (Cauvain & Young, 2002).

Por otro lado, la estructura alveolar de la miga es uno de los atributos más importantes de las características internas del pan, es un parámetro muy difícil de cuantificar desde el punto de vista de su correlación con la percepción humana de la calidad. Por ello, el método más común que se utiliza es la estimación subjetiva de la estructura del producto, comparándola con algún material de referencia. Cada tipo de pan tiene sus propios requisitos sobre la estructura alveolar de la miga y por tanto, no hay un solo estándar que pueda aplicarse a todos los productos (Cauvain & Young, 2002).

2.10.3 Medida de la textura de panes mediante análisis de perfil de textura (TPA)

En el caso de la textura de la miga de pan, es de gran interés las propiedades mecánicas de la misma, como firmeza y elasticidad. El análisis de perfil de textura TPA, es una técnica que trata de utilizar bases comunes para los métodos subjetivos y objetivos empleados para estimar la calidad sensorial asociada a la palatabilidad/masticabilidad (Roudot, 2004).

La prueba TPA es una técnica empírica que utiliza un ensayo de compresión en dos ciclos, normalmente con una máquina de ensayo universal o texturómetro (Nielsen, 2008) que imita la acción de la quijada de una persona. De la prueba se obtienen siete parámetros texturales de una curva fuerza-tiempo, de los cuales cinco son medidos indirectamente y dos son calculados indirectamente (Rodríguez *et al.*, 2005). Los descriptores básicos son los siguientes: (Rosenthal, 2001).

1. Dureza: Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares.
2. Elasticidad: La extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza.
3. Adhesividad: Trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie.
4. Cohesividad: Fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento.
5. Fragilidad: Fuerza a la que el material se fractura. Los alimentos frágiles nunca son adhesivos.
6. Masticabilidad: Energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado. Equivale al producto entre la dureza, la cohesividad y la elasticidad.
7. Gomosidad: Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado. Equivale al producto entre la dureza y la cohesividad.

2.10.4 Textura de galletas mediante prueba de penetración

Esta prueba consiste en introducir una longitud dada de un punzón, de forma y tamaño conocidos, en el producto a estudiar, con lo que se mide la fuerza necesaria para realizar la penetración. Este ensayo es muy utilizado con sólidos o semisólidos, pues presenta una gran similitud con la penetración de los dientes en un alimento sólido (Roudot, 2004).

2.10.5 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre, ya que de una forma consciente y en todas las etapas de su vida, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con las sensaciones que experimenta al consumirlos. Por tanto, se establecen criterios para la selección de los alimentos, que inciden sobre una de las partes de la calidad global del alimento, la calidad sensorial. Debido a esto, el análisis sensorial puede proporcionar una visión integral sobre la calidad organoléptica de un producto, teniendo muy

presente que el éxito de un alimento depende de las reacciones totalmente subjetivas del consumidor, es decir, de la respuesta de los sentidos (Ibañez & Barcina, 2001).

3 ANTECEDENTES

3.1 Investigaciones sobre elaboración de productos de panadería con harinas compuestas

Larosa *et al.* (2006) investigaron el aprovechamiento de okara en la elaboración de galletas dulces, con inclusiones de 10 a 50% de harina de okara a la de trigo. Okara es el sólido residual de la extracción de leche de soja, rico en proteína y generalmente descartado o usado en alimentación animal. Se logró una galleta dulce con adición de 4% de okara con la mejor aceptación sensorial para los atributos de aroma, color, sabor e impresión global. Estas galletas presentaron mayores valores para la textura, el diámetro y el factor de expansión en comparación con una galleta dulce sin harina de okara y a una galleta comercial. Los resultados permitieron establecer la posibilidad de utilización de harina de okara en la elaboración de galletas dulces con características tecnológicas y sensoriales aceptables por los consumidores.

Marques *et al.* (2009) verificaron la viabilidad en cuanto a las características nutricionales, tecnológicas y sensoriales de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de avena o de arroz parbolizado en niveles de 25, 50 y 75%, en la elaboración de galletas tipo cookie. Se estableció que la adición de la harina de avena a las galletas proporcionó una mayor suavidad, leve oscurecimiento y sensorialmente no provoca diferencia significativa, respecto a la galleta elaborada con 100% harina de trigo. En cuanto a la harina de arroz parbolizado, nutricionalmente las galletas presentaron un mayor contenido de almidón resistente y menor contenido de lípidos a comparación de las galletas con harina de trigo; tecnológicamente, las galletas eran más suaves y sensorialmente no se diferenciaron estadísticamente de la galleta control hasta el 75% de sustitución.

Da Silva *et al.* (2011) estudiaron el efecto de la utilización de harina mixta de trigo y linaza integral en proporciones de 100:0, 90:10 y 85:15, en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de sal. Establecieron que la utilización de 10 y 15% de harina de linaza alteró la composición química de los panes, destacando el aumento en el contenido de fibra alimenticia y de lípidos. Los panes obtenidos presentaron una coloración más oscura, reducción del volumen general y específico y mayor firmeza, indicando el debilitamiento de la estructura proteica de la masa, con pérdida de la capacidad de retención de los gases provenientes de la fermentación. Sensorialmente los panes obtuvieron buena aceptación para ambas formulaciones. El estudio permitió concluir que aunque la incorporación de hasta 15% de harina de linaza promueve la disminución de las cualidades tecnológicas de

los panes de sal, es una opción prometedora para su comercialización, debido a la aceptación del producto y el contenido nutricional.

Mohammed *et al.* (2012) estudiaron la reología y el rendimiento de la cocción en la elaboración de pan con sustitución parcial de harina de trigo por la de garbanzo en niveles de 10, 20 y 30%. Se determinó que la harina de garbanzo aumentó la adsorción de agua y el tiempo de desarrollo de la masa, mientras que la extensibilidad y la resistencia de la masa a la deformación, se redujeron. También, se demostró que una sustitución del 10%, representó una mayor estabilidad de la masa y su resistencia al mezclado mecánico, que el control, pero se generó una disminución cuando la sustitución aumentó de 20% a 30%. Igualmente, las masas a partir de mezclas con 20 y 30%, desarrollaron una superficie pegajosa comparada con el control y la sustitución del 10%. La presencia de harina de garbanzo en la masa afectó la calidad del pan respecto al volumen, estructura interna y textura. Además, generaron un color de corteza y miga del producto progresivamente más oscuros a medida que el nivel de sustitución de harina de garbanzo aumentaba. Esto permitió concluir que una sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo del 10% permite obtener panes tan similares como el pan control con 100% harina de trigo.

Burešová *et al.* (2014) estudiaron las características reológicas de masas sin gluten de harina de amaranto, garbanzo, maíz, mijo, quinua y arroz, y su efecto sobre la calidad del pan con levadura. Los resultados les permitieron establecer que la resistencia de la masa libre de gluten a la extensión, extensibilidad y otras características obtenidas por deformación uniaxial de la masa, podían dar la información necesaria acerca de la calidad de panificación de la masa. Por lo tanto, una masa que exhibe una resistencia más fuerte a la extensión, mayor extensibilidad y mayor estrés en el momento de la ruptura de la muestra, permitiría en general, la obtención de pan con mejor calidad.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La seguridad alimentaria y nutricional es una temática global que requiere el aporte de la investigación y la innovación, por esto, la necesidad de formular alimentos saludables y estudiar materias primas alternativas es una tarea prioritaria para los profesionales del sector de los alimentos, siendo de gran interés el grupo de los cereales, granos y semillas (Umaña *et al.*, 2013)

La industria panificadora tiene un importante potencial de crecimiento y de desarrollo en el país, sin embargo, el consumo de trigo durante los últimos cinco años se eleva por encima de 1'400.000 toneladas anuales, por otro lado la producción nacional no supera los 100.000 toneladas al año (FENALCE, 2014). El mercado de panificación y galletería depende entonces de las cosechas a nivel internacional, lo que se convierte en mayores costos para la industria. Esto supone desafíos para los profesionales de los alimentos, ya que se deben buscar alternativas para la industria, así como explotar las fortalezas del productor Colombiano (Alimentos, 2015).

5 JUSTIFICACIÓN

La industria alimentaria está sometida a un continuo cambio, tanto por la demanda de los consumidores, como por la constante búsqueda de una solución a las necesidades de la sociedad. Se debe buscar entonces, una nueva forma de sustituir la harina de trigo y por tanto, reducir la dependencia del país a las importaciones y aunque requiera mucho esfuerzo, hay un alto porcentaje de viabilidad en la elaboración de diferentes productos a partir de materias primas alternativas al trigo. Para ello, no sólo se requiere identificar materias primas nacionales con las que se pueda lograr la sustitución, sino al mismo tiempo crear ese interés en el sector de panificación para obtener en conjunto una serie de productos adecuados para el mercado. Esto representaría para la industria panadera seguir el camino hacia el desarrollo de productos innovadores con alto valor agregado, aprovechando las características de aquellos productos que sobresalen como una excelente opción ante muchas de las insuficiencias del presente.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Desarrollar productos de panificación a partir de una harina compuesta.

6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente mezclas para panificación de harina de trigo, garbanzo, maíz y fibra de piña en polvo.
- Evaluar las características físicas y la aceptabilidad de las sustituciones en panes y galletas elaborados con las mezclas propuestas.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Materias Primas

Las materias primas empleadas en la elaboración de los productos de panificación fueron proporcionadas por ANIPAN – Asociación Nacional de Industriales de la Panadería y Alimentos Complementarios-, asegurando su calidad e higiene para el desarrollo de productos aptos para el consumo humano. Las materias primas fueron: harina de trigo fortificada Flor Suprema, azúcar refinada, sal, margarina, levadura instantánea El Panificador, polvo de hornear, mejorador de harinas Enzipan Laboratorios S.A., Bogotá y esencia de naranja.

El garbanzo fue adquirido en un supermercado de cadena, en paquetes de 500 g. El maíz seco fue adquirido en un mercado campesino de la ciudad de Pasto, Nariño; este maíz es regularmente conocido como ‘Capio’ y se caracteriza por ser de grano grande y color amarillo.

7.2 Equipos

- Molino de discos AHJ10 marca Electroindustrial González
- Estufa a gas
- Licuadora industrial Skymesen modelo LAR-02MB
- Estufa de convección forzada MLW
- Molino eléctrico de discos Victoria modelo VH750-C
- Balanzas analíticas:
 - Global GB-469, precisión ± 0.005 kg
 - Electronic Compact Scale, precisión ± 1 g
 - Ohaus Adventurer Modelo ARA 520, precisión $\pm 0,01$ g
 - Mettler AE 200, precisión $\pm 0,0001$ g
- Ro-Tap W.S. Tyler modelo RX-29
- Juego de tamices de la serie Tayler de número 10, 18, 35, 60, 100, 120, 140, 270 y el fondo.

- Baño termostático Lab Companion BW-20H equipada con una plancha de agitación sumergible Variomag
- Centrifuga Bioblock Scientific Sigma 2-15
- Estufa para laboratorio Jouan
- Viscosímetro Brookfield Model RVDV-III ULTRA
- Baño termostático Lab Companion CW-05G
- Mezcladora Spar Mixer marca Pallomaro Ltda.
- Cuarto de crecimiento
- Horno rotatorio marca Mecanomega
- Tajadora eléctrica
- Texturómetro Shimadzu EZ-test
- Colorímetro Triestimulus ColorFlex de Hunterlab

7.3 Obtención y caracterización de las harinas

7.3.1 Obtención de las harinas

El garbanzo y el maíz se seleccionaron para retirar cualquier material extraño diferente a los granos. Las harinas se obtuvieron por molienda de los granos en un molino de discos manual dotado con un motor de 1Hp (Marca Electroindustrial González). La primera molienda se realizó con una separación entre discos de 0,5 cm, garantizando la trituration del grano y un bajo calentamiento del equipo. Seguidamente, esta operación se realizó en tres ocasiones consecutivas. La molienda de los granos se realizó con los granos copletos, puesto que se deseaba aprovechar por completo su valor nutricional.

El polvo de fibra de piña se obtuvo a partir de la cáscara de piña troceada, proporcionada por la empresa Frutidelicias Ltda., Cali. Se lavó y se cortaron 10 Kg de cáscaras para obtener trozos pequeños. Se llevó a cocción en medio acuoso durante 40 min a 87 °C en una olla de acero inoxidable sobre estufa a gas y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente. Se licuó la cáscara con el agua de la cocción en una licuadora industrial (Skymssen modelo LAR-02MB). El producto obtenido, se prensó de forma manual con ayuda de tela de malla. Se secó en una estufa de convección forzada (MLW) a 80°C por 24 h. El material seco, se sometió a molienda en un molino eléctrico de discos (Victoria modelo VH750-C). El producto obtenido fue empleado por completo en el desarrollo de los productos de panadería.

7.3.2 Granulometría

La caracterización granulométrica de las harinas, se realizó mediante un equipo Ro-Tap (W.S. Tyler) con un juego de 8 tamices de la serie Tyler de números 10 (2 mm), 18 (1 mm), 35 (0,5 mm), 60 (0,25 mm), 100 (0,15 mm), 120 (0,125 mm), 140 (0,106 mm) y 270 (0,053 mm) y un fondo.

La granulometría de las harinas de trigo, maíz, garbanzo y el polvo de fibra de piña, igual que para cada una de las harinas compuestas empleadas en los productos de panificación, se determinó de acuerdo a la norma AOAC 965.22. Se pesó cada uno de los tamices del juego empleado. Se pesaron 100 g de muestra y se llevó a agitación en el Ro-Tap durante 20 min. Finalmente, se pesó de nuevo para cada uno de los tamices para hallar por diferencia de pesos, las fracciones retenidas en cada tamiz. Los ensayos fueron realizados por triplicado.

7.3.3 Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)

Para la determinación del IAA, ISA y PH se siguió el método de Anderson *et al.* (1969), con algunas modificaciones. Se pesaron 1,25 g (b.s) de harina en un tubo de centrífuga previamente pesado, se adicionó 30 mL de agua destilada y se colocó en baño maría a 60°C durante 30 min con agitación constante en un baño termostático (Lab Companion BW-20H) equipada con una plancha de agitación sumergible (Variomag). Se dejó enfriar a temperatura ambiente para llevar a centrifugación, a 4900 rpm durante 30 minutos en una centrífuga (Bioblock Scientific Sigma 2-15). Luego, se decantó el sobrenadante, se midió su volumen y se tomó una alícuota de 10 mL en una caja Petri previamente pesada y se secó en estufa a 70°C durante 24 horas. Posteriormente, se pesó nuevamente. El gel retenido en los tubos se pesó. El IAA, ISA y PH se determinaron de acuerdo a las ecuaciones 5 a 7, respectivamente (Rodríguez *et al.*, 2012). Los ensayos se realizaron por triplicado.

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)(bs)}} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times \text{Volumen} \times 10}{\text{Peso muestra (g)(bs)}} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} \times \text{Peso sólidos solubles (g)}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

7.3.4 Reología

7.3.4.1 Viscosidad aparente

La viscosidad aparente se determinó con un viscosímetro (Brookfield Model RVDV-III ULTRA) y una aguja #29. Se preparó en un tubo de ensayo para cada harina 25 g de suspensión en agua destilada al 15% (p/p), las suspensiones se llevaron en los tubos sellados a calentamiento en baño termostático Lab Companion CW-05G a 80°C para obtener soluciones uniformes. El calentamiento constó de dos partes, en la primera, la mezcla fue llevada a calentamiento con agitación manual hasta lograr la gelatinización de la muestra, para luego mantenerse en calentamiento sin agitación por 20 minutos. Después de enfriarse hasta temperatura ambiente, alrededor de 24,3°C, realizó la prueba para cada suspensión a velocidades de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 rpm.

Dado que las harinas estudiadas, a excepción de la harina de trigo, no cumplían el concepto de homogeneidad, necesario para la medición de las características reológicas; por ello, para mejorar las lecturas, se utilizó el software Rheocalc V3.1-1 para registrar 10 datos de viscosidad y velocidad de deformación para cada velocidad en rpm, a partir de los cuales se determinaron valores promedios. Los ensayos fueron realizados por triplicado.

La viscosidad aparente no fue determinada para la fibra de piña, debido a su alto contenido de fibra insoluble, que no permitía formar una suspensión, la cual en las harinas está favorecida por la presencia de almidón.

7.4 Desarrollo de productos de panadería

Los productos de panadería, se elaboraron siguiendo las formulaciones y procedimientos detallados del señor José Félix Cipriani de ANIPAN, desarrollados a lo largo de su experiencia en el área de los productos derivados de los cereales.

En la Tabla 6, se muestran las formulaciones empleadas para la elaboración de galletas polvorosas y pan de molde, tanto para los productos control con 100% harina de trigo como para los productos elaborados con harina compuesta.

Tabla 6. Formulaciones para el desarrollo de galletas polvorosas y pan de molde.

Ingrediente	Galleta polvorosa	Pan de molde
Harina	100%	100%
Azúcar	50%	10%
Margarina	80%	10%
Sal	0,5%	2%
Agua*	-	50%
Levadura	-	1%
Mejorador**	-	1%
Polvo hornear	2%	-
Esencia de naranja	1%	-

*En panes elaborados con harina compuesta disminuyó de 1 a 4%; sin embargo, la adición de agua es igualmente dependiente de la humedad relativa del ambiente en el momento de la elaboración.

EL uso de mejoradores de harina para aumentar la retención de gases en masas para pan con sustitución de harina de trigo, ha sido estudiado con inclusión de harina de quinua (Moreira *et al.*, 2007) y con inclusión de harina de linaza (Da Silva *et al.*, 2011).

El balanceo de las fórmulas se realizó siguiendo el método de porcentajes de panadero, donde la harina es considerada el 100% y se utiliza como base para determinar la cantidad de los demás ingredientes (Cipriani, 2012).

En el desarrollo de los productos de panadería, se empleó una balanza Global GB-469 para pesar los ingredientes de mayor porcentaje en la formulación, mientras que los ingredientes de menor porcentaje fueron pesados en una balanza Electronic Compact Scale. En las fases de mezclado, se utilizó una mezcladora (Spar Mixer, marca Pallomaro Ltda.) y para el horneo un horno rotatorio (marca Mecanomega).

7.4.1 Desarrollo de galletas tipo polvorosas

Para la elaboración de galletas tipo polvorosas se siguió el procedimiento ilustrado en la figura 3.

1. Se pesaron los ingredientes. Las harinas con el polvo de hornear, se mezclaron de forma manual en un recipiente y se reservó.
2. Se realizó el cremado de la grasa junto con el azúcar, la sal y la esencia en una mezcladora empleando la paleta mezcladora. El mezclado se inició en la velocidad 1 durante 3 min y después a velocidad 3, hasta obtener una crema libre de gránulos y de color amarillo muy claro.
3. Se adicionó la mezcla de harinas y polvo de hornear y se mezcló de nuevo a velocidad 1 durante un minuto aproximadamente. Se terminó el mezclado de forma manual.
4. Se realizó el formado manualmente, con bolas de 5 g, las cuales fueron aplastadas un poco entre los dedos. Las piezas se colocaron en una lata de panadería previamente aceiteada.
5. Se hornearon las piezas en dos fases continuas: por 7 minutos a 145°C y por 5 minutos a 170°C.
6. Se dejaron enfriar las galletas en sus respectivas latas en el espiguero.
7. Se empacaron las galletas en bolsas de polietileno.

7.4.2 Desarrollo de pan tipo molde

Para la elaboración del pan de molde se siguió el procedimiento ilustrado en la Figura 4.

1. Se pesaron los ingredientes. Los ingredientes secos se mezclaron de forma manual en un recipiente.
2. Se mezclaron los ingredientes secos con la margarina empleando en gancho espiral a velocidad 1 mientras se adicionaba progresivamente el agua. Con la incorporación de los ingredientes se inició el amasado a velocidad 2 hasta obtener una masa con red de gluten acondicionada. Nota: Se observó que la cantidad de agua añadida para la adecuada formación de la masa es dependiente de la composición de la harina y de las condiciones ambientales.
3. Se dividió la masa en unidades de 290 g y posteriormente, se boleó cada pieza.
4. Se dejó en reposo las piezas boleadas durante 15 a 20 minutos cubiertas con un plástico.
5. Se realizó el formado de las piezas.
6. Se llevaron las masas formadas a moldes de aluminio previamente aceitados.
7. Se llevaron a fermentación los moldes conteniendo las masas en un cuarto de crecimiento a temperatura de 32-34°C y humedad de 70%, por aproximadamente 1 hora.
8. Se hornearon las piezas en dos fases continuas: por 8 minutos a 155°C y por 12 minutos a 170°C.
9. Se dejaron enfriar los panes en sus respectivas latas en el espiguero.
10. Se tajó cada pan empleando una tajadora eléctrica.
11. Se empacaron los panes tajados en bolsas de polietileno.

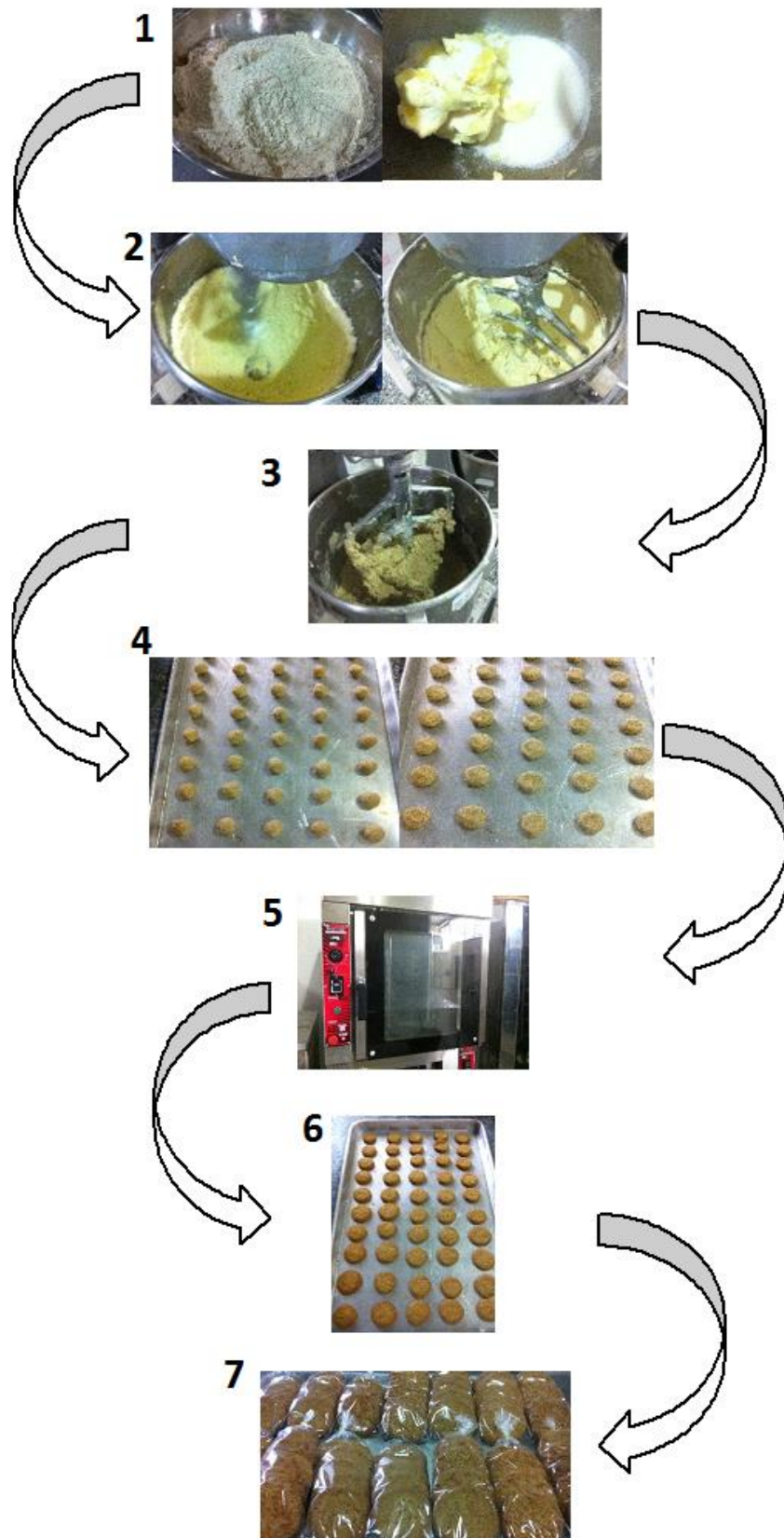


Figura 3. Proceso para la elaboración de galletas tipo polvorosa.

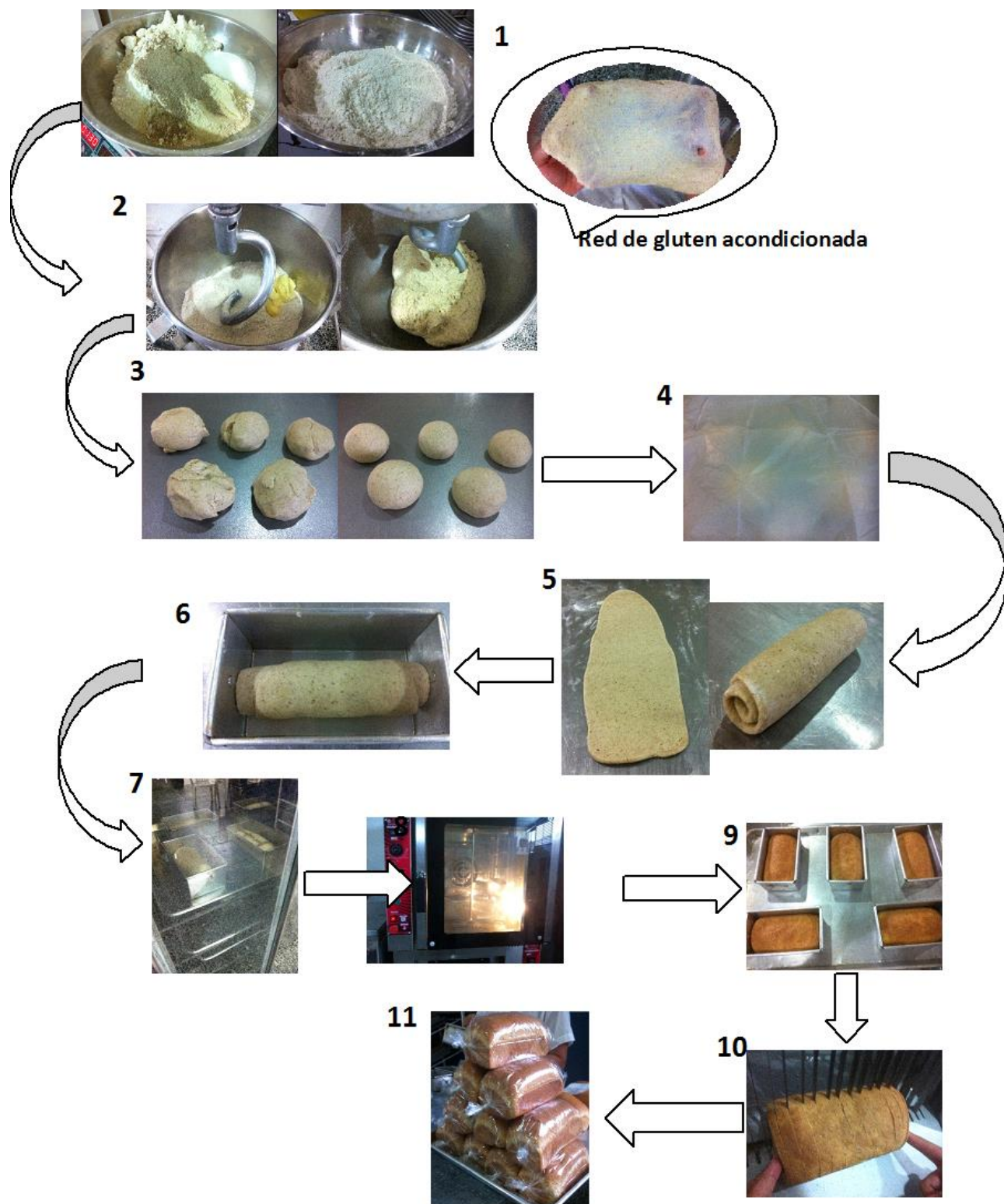


Figura 4. Proceso de elaboración de pan de molde.

7.5 Evaluación de las masas

7.5.1 Propiedades texturales de la masa

La evaluación de las propiedades texturales se realizó mediante una prueba de compresión uniaxial para las masas. Se utilizó un texturómetro (ShimadZu EZ-test), utilizando el software Rheometer. Se extrajo una muestra de las masas de galleta y de panes, se llevaron a refrigeración por un día en bolsas de polietileno con cierre hermético. Antes de cada medición, las muestras se dejaron reposar hasta una temperatura alrededor de 25°C. Se tomó con un sacabocados una muestra cilíndrica de la masa de 3 cm de diámetro y 2 cm de altura. Se llevó la muestra a la zona de prueba en el texturómetro y se realizó la prueba de compresión hasta el 70% de la muestra, empleando un émbolo. Se utilizó una celda de carga de 500 N a una velocidad de prueba de 120 mm/min. Se obtuvo la fuerza de compresión de cada muestra, realizada por triplicado para las masas de cada formulación de galletas y de panes, incluida la control (harina de trigo). La figura 5 ilustra la prueba de compresión uniaxial para una muestra de masa de galleta.

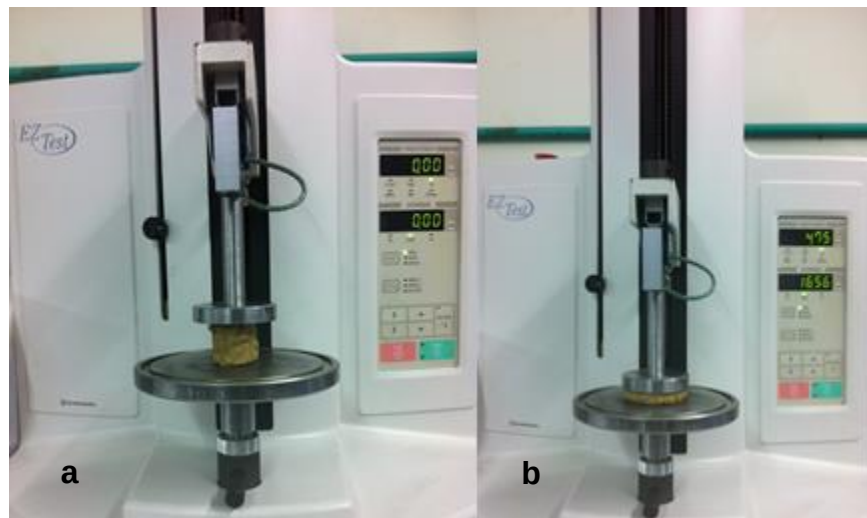


Figura 5. Prueba de compresión uniaxial. a. Inicio de la prueba. b. Final de la prueba.

7.6 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO

7.6.1 Color

La medición del color de los productos obtenidos fue realizada en un Colorímetro Triestímulus ColorFlex de Hunterlab, el cual permitió la lectura directa de las coordenadas de L* (Luminosidad), a* (Tonalidades de verde a rojo) y b* (Tonalidades de azul a amarillo). Se tomó una muestra de harina o del producto obtenido y se llevó al colorímetro para tomar la medición de color, asegurándose que la muestra tapara totalmente la fuente de luz. En el

caso de las galletas, la muestra fue triturada y llevada a medición en una caja Petri, mientras que para los panes, se tomó una muestra cilíndrica de la miga. Las mediciones fueron realizadas por triplicado para cada harina compuesta y su respectivo producto, incluyendo los productos control de harina de trigo. El análisis de color se llevó a cabo calculando el cambio global de color (ΔE), de luminosidad (ΔL), de croma (ΔC) y tono (Δh) durante el proceso de elaboración, tomando como punto inicial el color de la harina y el punto final el color del producto (Cauvain & Young, 2002).

7.6.2 Volumen general y estructura de la miga de los panes

La determinación del volumen general del pan blanco y los panes obtenidos con las harinas compuestas, se realizó mediante desplazamiento de semillas de linaza (Cauvain & Young, 2002).

Usando una probeta de 1000 mL y semillas de linaza, utilizadas debido al poco espacio que dejan unas entre otras, se introdujo la muestra en la probeta, se procedió a agregar las semillas y se realizó una lectura de volumen; luego, se sacó la muestra dejando las semillas de linaza y se efectuó la lectura del volumen final. El volumen de producto se calculó a partir de la diferencia de volúmenes.

7.6.3 Textura de los panes mediante prueba TPA

La prueba de TPA para los panes fue igualmente realizada después de 1 día de preparación. Se usó un texturómetro (ShimadZu EZ-test), utilizando el software Rheometer. Se tomó con un sacabocados, una muestra cilíndrica de la miga del pan de 3 cm de diámetro y 1,2 cm de altura. Se llevó la muestra al texturómetro y se realizó la prueba de masticación hasta una compresión del 50%, empleando un émbolo. Se utilizó una celda de carga de 500 N a una velocidad de 100 mm/min, según indicaciones del profesor Juan Sebastián Navas. La prueba fue realizada por triplicado para los productos obtenidos con cada formulación de panes, incluyendo la formulación control de harina de trigo. En la figura 6, se ilustra la realización de la prueba de penetración para una muestra de pan elaborado con harina compuesta.

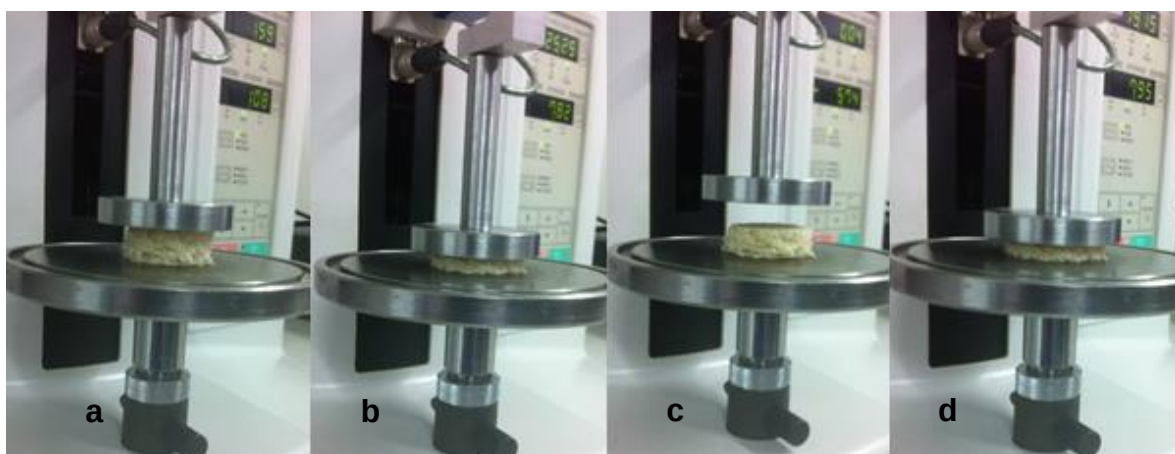


Figura 6. Prueba de TPA realizada a la miga de un pan con harina compuesta.

*a. Inicio de la prueba b. Primera compresión c. Inicio de segunda compresión d. Final de la prueba.

Dado que la dureza de los panes es una medida de la fuerza aplicada para ocasionar la deformación o el rompimiento de la muestra. Además esta se relaciona con la fuerza usada para la masticación humana y el grado de frescura del pan; por lo tanto, el análisis de textura para panes, se limitó a esta variable (Moreira *et al.*, 2007).

7.6.4 Textura de galletas mediante prueba de penetración

La prueba de penetración para las galletas fue realizada después de 1 día de preparación en un texturómetro (ShimadZu EZ-test), utilizando el software Rheometer. Se llevó una galleta con dimensiones promedio de 4,4 cm de diámetro y 1,1 cm de espesor a la zona de prueba en el texturómetro y se realizó la prueba de penetración, empleando un punzón. Para la prueba se utilizaron los siguientes parámetros: celda de carga de 500 N y velocidad de prueba de 100 mm/min. La prueba fue realizada por triplicado para las muestras obtenidas con cada formulación de galletas, incluyendo la formulación control de harina de trigo. En la Figura 7, se ilustra la realización de la prueba de penetración para una muestra de galleta elaborada con harina compuesta.

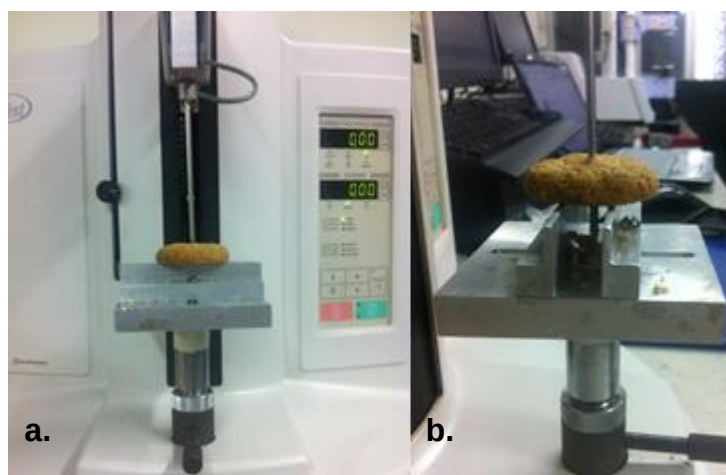


Figura 7. Prueba de penetración realizada a una galleta con harina compuesta.

7.6.5 Evaluación sensorial

Los productos obtenidos con las harinas compuestas fueron evaluados sensorialmente. Se consideraron los atributos color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general, aplicando una prueba de aceptación de escala hedónica con siete puntos, a 50 panelistas no entrenados. La prueba fue efectuada en la Universidad del Valle, Sede Meléndez en horarios entre 9-11 am y 3-4 pm, a estudiantes de ambos sexos de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, los cuales comprendieron un rango de edad entre 18-25 años. Las pruebas se realizaron por duplicado. En la Figura A1 (Ver anexo), se muestra el formato de respuesta para la prueba de aceptación sensorial.

7.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los resultados del presente estudio, se analizaron bajo un diseño factorial 2^2 , con tres réplicas para las pruebas instrumentales y dos réplicas para la evaluación sensorial. Los factores fueron la harina de garbanzo y la harina de maíz, cada uno con dos niveles, los cuales fueron definidos independientemente para galletas y para panes. La unidad experimental de estudio fueron los productos de panadería, galletas y panes, elaborados con las diferentes harinas compuestas.

El análisis de los datos, se realizó mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA y el test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%, para la comparación de medias entre todos los tratamiento (Carvalho *et al.*, 2010; Marquez *et al.*, 2009; Larosa *et al.*, 2006). Empleando el programa Minitab 16.

7.7.1 Diseño experimental para galletas

En las formulaciones de harinas compuestas para la elaboración de galletas, se manejó un porcentaje fijo de 10% para la fibra de piña, los porcentajes de harina de garbanzo y maíz, se limitaron a niveles de 35 y 45%. El porcentaje de harina de trigo se ajustó para completar el 100% de la base de harina. En la Tabla 7, se muestra el diseño experimental desarrollado para el análisis del efecto de las harinas compuestas en la elaboración de galletas.

Tabla 7. Diseño experimental de elaboración de galletas.

Factores	Niveles	Variables respuesta
Harina de garbanzo	35%	Dureza Adhesividad Aceptabilidad del producto
	45%	
Harina de maíz	35%	
	45%	

7.7.2 Diseño experimental para panes

En el caso de los panes, en las formulaciones de harinas compuestas, se manejó un porcentaje fijo de 3% para la harina de fibra de piña y los porcentajes de harina de garbanzo y de maíz, fueron 15 y 25%, respectivamente. El porcentaje de harina de trigo se ajustó para completar el 100% de la base de harina. En la Tabla 8, se muestra el diseño experimental desarrollado para el análisis del efecto de las harinas compuestas en la elaboración del pan.

Tabla 8. Diseño experimental de elaboración de panes.

Factor	Niveles	Variables respuesta
Harina de garbanzo	15%	Volumen Dureza Aceptabilidad del producto
	20%	
Harina de maíz	15%	
	20%	

7.7.3 Modelo estadístico

A continuación, se presenta el modelo estadístico de regresión lineal múltiple, correspondiente al diseño experimental llevado a cabo, ecuación 8.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots; i, j = 1, 2 \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Y_{ik} = Valor aleatorio que toma la variable respuesta en la k-ésima réplica que ha sido expuesta al nivel i del factor harina de garbanzo y el nivel j del factor harina de maíz.

μ = Valor promedio general de la variable respuesta.

α_i = Efecto sobre la variable respuesta debido al nivel i del factor harina de garbanzo.

β_j = Efecto sobre la variable respuesta debido al nivel j del factor harina de maíz.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto sobre la variable respuesta debido a la interacción entre los factores harina de garbanzo y harina de trigo.

ε_{ijk} = Efecto sobre la variable respuesta debido al error experimental.

Hipótesis de la interacción

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0 \quad \text{vs.} \quad H_a: \text{Al menos una } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$$

Hipótesis de los efectos principales

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0 \quad \text{vs} \quad H_a: \alpha_i \neq 0 \quad \text{para algún } i$$

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0 \quad \text{vs} \quad H_a: \beta_j \neq 0 \quad \text{para algún } j$$

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Caracterización de las harinas y las mezclas

En la figura 6, se muestran las harinas obtenidas con la molienda y la harina de trigo empleada.

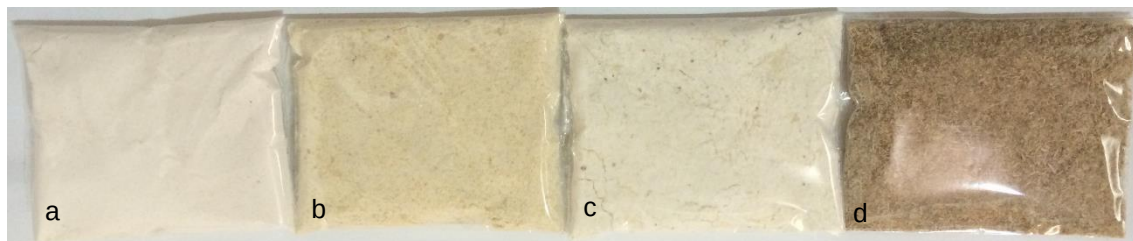


Figura 8. Harinas puras empleadas en este trabajo. a. Trigo; b. Garbanzo; c. Maíz y d. Fibra de piña.

8.1.1 Granulometría

En las Figuras 9 a 11, se presentan las curvas de distribución granulométrica para las harinas puras, las harinas compuestas empleadas en la elaboración de galletas y las harinas compuestas para la elaboración de pan (Ver anexo Tabla A1), respectivamente. Igualmente,

en la Tabla 8 se muestran los módulos de finura (MF) y el diámetro geométrico promedio (dgw) para cada harina.

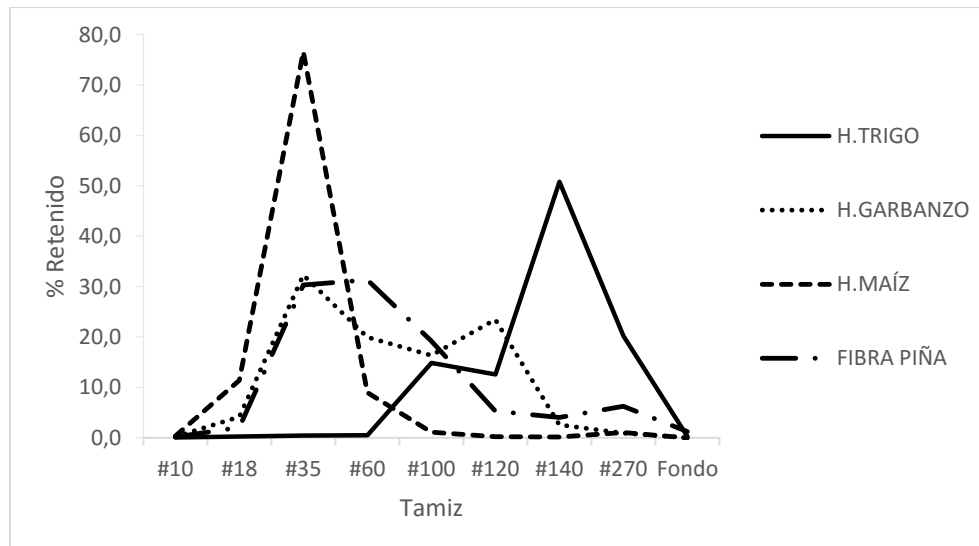


Figura 9. Curva de distribución granulométrica para harina de trigo, maíz, garbanzo y fibra de piña.

Se determinó a partir del análisis granulométrico, representado en la figura 9, que la harina de trigo presentó una menor granulometría comparada con las otras harinas; sin embargo, se debe tener en cuenta que la distribución granulométrica de la harina de maíz puede no ser la real, ya que presentó compactación durante el procedimiento de agitación en el Rotap, debido a su carácter altamente higroscópico. Igualmente, se observó que la harina de trigo y de maíz eran más uniformes que la harina de garbanzo y que la de fibra de piña, quedando retenido el 71% entre los tamices 140 y 270 para la harina de trigo y el 88,1% entre los tamices 18 y 35 para la harina de maíz. En tanto, el 92,1% de la harina de garbanzo quedó retenida entre los tamices 35 a 120 y el 80,9% del polvo de fibra de piña, entre los tamices 35 a 100.

La distribución granulométrica de las harinas de garbanzo, maíz y fibra de piña fue más dispersa y de mayor tamaño de partícula que la de harina de trigo, la cual era la principal materia prima y la que se quería comparar. Este estudio empleó las harinas con tamaño de partícula sin homogenizar, con el fin de aprovechar cada uno de los componentes presentes en la totalidad del producto original, del cual fue obtenido cada harina.

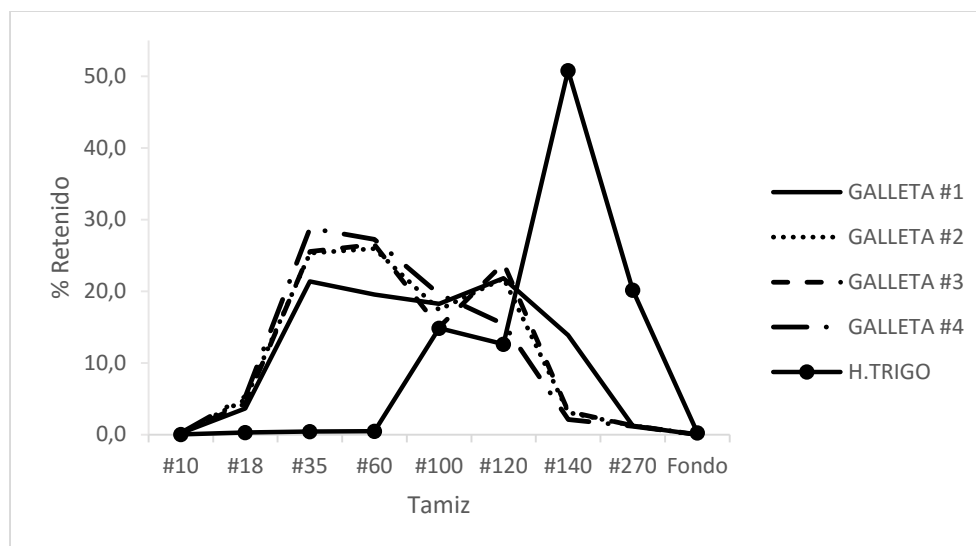


Figura 10. Curva de distribución granulométrica para harinas compuestas empleadas en la elaboración de galletas.

Se observó en la Figura 10, que las harinas compuestas usadas en la elaboración de galletas tipo polvorosas, presentaron granulometría con mayor dispersión que la harina de trigo, quedando retenido entre los tamices 35 a 120, el 81% de la formulación GALLETA #1, el 90,5% de la GALLETA #2, el 91,0% de la GALLETA #3 y el 91,1% de la GALLETA #4.

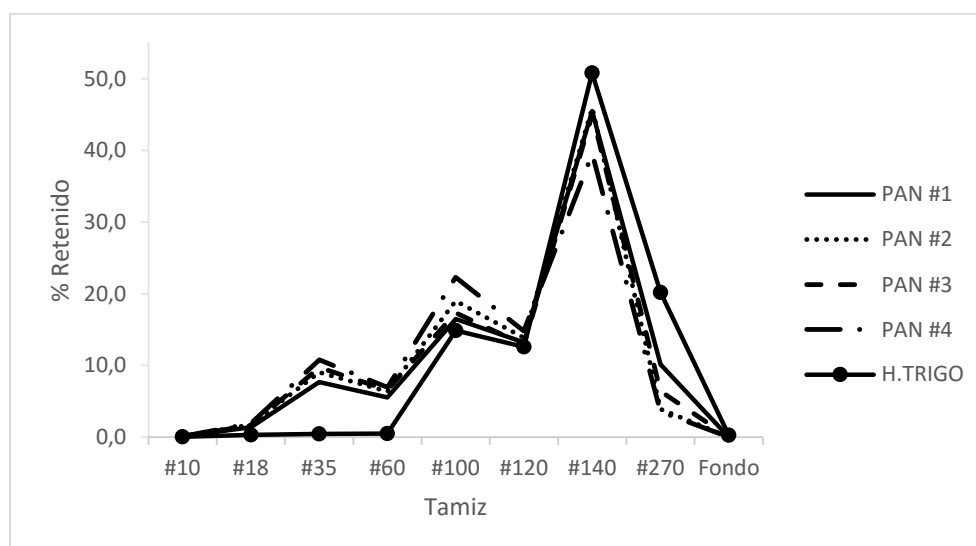


Figura 11. Curva de distribución granulométrica para harinas compuestas empleadas en la elaboración de pan.

Según la Figura 11, se observó que las harinas compuestas, utilizadas en la elaboración de pan tipo molde, presentaron granulometría más fina y una distribución con mayor homogeneidad, comparadas con las destinadas a la elaboración de galletas. Por esto, la mayor cantidad quedó retenida en el tamiz 140, que fue de 45,5% para la formulación PAN #1, de 45,9% para PAN #2, de 45,0% para PAN #3 y de 39,5% para PAN #4. La mayor homogeneidad, se debió a que había mayor porcentaje de harina de trigo en las

formulaciones de harinas compuestas empleadas para elaboración de pan, que igualmente se vio reflejado en una granulometría con gran similitud a la de harina de trigo.

Tabla 9. Módulo de finura y diámetro promedio geométrico de las harinas estudiadas.

HARINAS PURAS	dgw (mm)	MF
H. trigo	0,12±0,00	2,27±0,11
H. maíz	0,69±0,02	5,94±0,06
H. garbanzo	0,33±0,00	4,67±0,05
Fibra piña	0,32±0,01	4,09±0,01
HARINAS COMPUESTAS PARA GALLETAS	dgw	MF
Galleta #1	0,26±0,01	4,21±0,12
Galleta #2	0,31±0,01	4,61±0,04
Galleta #3	0,31±0,01	4,58±0,03
Galleta #4	0,34±0,01	4,76±0,09
HARINAS COMPUESTAS PARA PAN	dgw	MF
Pan #1	0,16±0,01	2,91±0,15
Pan #2	0,17±0,00	3,13±0,08
Pan #3	0,17±0,01	3,08±0,08
Pan #4	0,18±0,00	3,30±0,07

A partir de la Tabla 9, se determinó que la harina de trigo tiene el menor diámetro geométrico promedio (dgw), comparado con las harinas de maíz, garbanzo y fibra de piña. Las harinas compuestas empleadas en la elaboración de pan presentaron un dgw cercano al de la harina de trigo, mientras que el dgw de las harinas destinadas a la elaboración de galletas, fueron más altos.

Las harinas pueden ser clasificadas como gruesas ($MF \geq 4,10$), media ($MF = 3,20$), fina ($MF = 2,30$) y muy fina ($MF \leq 1,50$) (Souza, 2010). A partir de lo cual se estableció que la harina de trigo presenta granulometría fina, las harinas de maíz, garbanzo, fibra de piña y las compuestas para elaboración de galletas, tienen granulometría gruesa, mientras que las harinas compuestas para elaboración de pan, son de granulometría media.

La importancia de la caracterización granulométrica está relacionada con la difusividad del agua en las partículas, es decir, con la capacidad de la harina para absorber agua, que dependiendo del tamaño pueden absorber mayor o menor cantidad de agua durante el acondicionamiento de la materia prima (Carvalho *et al.*, 2010). Las partículas con tamaños más pequeños absorben proporcionalmente más agua y más rápidamente, que las partículas con mayor tamaño, lo que se debe a que hay una mayor área superficial para interactuar con las moléculas de agua. Sin embargo, la uniformidad de la granulometría es más importante que el tamaño de las partículas, debido a que favorece la distribución uniforme del agua en la masa (Schmiele *et al.*, 2011).

Las harinas clasificadas como finas, son ideales para la incorporación en productos de panificación, ya que posibilita una mejor incorporación de los ingredientes en la masa, lográndose productos finales con una mayor homogeneidad (Rodrigues *et al.*, 2011). De ahí que, gracias a estas características la harina de trigo sea la materia prima más usada en la elaboración de este tipo de productos. En referencia específica a galletería, la granulometría de las harinas utilizadas para la producción de galletas es muy variable y depende de las características del producto final que se desee (A.A.P.P.A, 2004; Manley, 1989).

Debido a lo anterior, se estableció que las harinas compuestas destinadas para galletas y panes presentaban una granulometría muy cercana a la materia prima empleada en la elaboración de dichos productos (harina de trigo). Sin embargo, fueron necesarios análisis fisicoquímicos adicionales, con los que se determinaron las propiedades funcionales de las harinas compuestas y se definió su capacidad para obtener productos de panificación con características sensoriales aceptables para el consumidor.

8.1.2 Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)

En la Tabla 10, se encuentran los valores promedio del índice de absorción de agua (IAA), del índice de solubilidad en agua (ISA) y del poder de hinchamiento (PH) de las harinas de trigo, garbanzo, maíz, fibra de piña y de las harinas compuestas empleadas para la elaboración de galletas y pan (Ver anexo Tabla A1).

Dado que las propiedades funcionales de IAA, ISA y PH miden principalmente el nivel de alteración del almidón principalmente por tratamientos térmicos, se debe tener en cuenta que la periferia del almidón es de naturaleza cristalina (Jeantet *et al.*, 2010). El almidón se encuentra en los tejidos vegetales en forma de gránulos, que están compuestos de moléculas de amilosa y amilopectina distribuidas radialmente (Badui *et al.*, 2006). La amilopectina forma paquetes de dobles hélices, que al agruparse dan lugar a la formación de laminillas cristalinas pequeñas. Por ello, los gránulos de almidón contiene regiones cristalinas y no cristalinas, ya que capas más densas que contiene mayor cantidad de laminillas cristalinas se alternan con capas amorfas menos densas (Fennema *et al.*, 2010).

Debido a la naturaleza cristalina de los gránulos de almidón, a temperaturas frías y tibias, éstos pueden ser difícilmente hidratados. A partir de temperaturas de 55-60°C, los enlaces fuertes entre las cadenas de almidón implicadas en la forma cristalina son disociados y las cadenas se relajan, permitiendo que el agua penetre, y por tanto, que el gránulo de almidón se hinche y se abra (Jeantet *et al.*, 2010). Los gránulos de almidón alterados térmicamente absorben aproximadamente cuatro veces más agua que los gránulos intactos y aumentan la absorción de agua de la masa (Cauvain & Young, 2002).

Al calentarse los gránulos de almidón en agua, sufren una perturbación de su organización molecular interna, fenómeno denominado gelatinización, donde los gránulos pierden la estructura cristalina y se hinchan de forma irreversible. La gelatinización comienza con un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas al iniciarse el calentamiento, puesto que los puentes de hidrógeno de estas áreas son menos rígidos que en las áreas cristalinas. Con la completa hidratación de la parte amorfa y el incremento de la temperatura, la zona cristalina se hidrata igualmente. Cuando el gránulo alcanza su volumen máximo, se rompe parcialmente por el calor y la amilosa y amilopectinas hidratadas, se disuelven, finalmente provocando la formación de una pasta de almidón (Badui, 2013) La rotura total de los gránulos se facilita con la aplicación de fuerzas de cizalla (Fennema *et al*, 2010).

Tabla 10. Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de las harinas estudiadas.

HARINAS PURAS	IAA (g gel/g muestra)	ISA (%)	PH (g/g)
HARINA TRIGO	2,98±0,08	12,38±0,19	49,50±1,53
HARINA GARBANZO	3,47±0,07	25,37±0,66	27,38±0,64
HARINA MAÍZ	2,77±0,04	6,59±0,13	90,30±2,20
FIBRA PIÑA	10,62±0,43	8,84±0,45	157,08±7,93
HARINAS COMPUESTAS PARA GALLETAS	IAA (g gel/g muestra)	ISA (%)	PH (g/g)
GALLETA #1	3,69±0,01	12,68±0,20	57,84±0,16
GALLETA #2	4,09±0,11	12,06±0,53	64,15±0,41
GALLETA #3	3,88±0,15	13,45±0,4	58,87±2,16
GALLETA #4	4,77±0,05	11,94±0,82	71,95±2,84
HARINAS COMPUESTAS PARA PAN	IAA (g gel/g muestra)	ISA (%)	PH (g/g)
PAN #1	2,98±0,04	12,15±0,43	49,76±1,37
PAN #2	3,10±0,12	11,67±0,17	53,92±2,45
PAN #3	2,86±0,08	11,78±0,54	50,15±2,35
PAN #4	3,10±0,15	11,89±0,28	53,21±2,23

La absorción de agua y el hinchamiento de los gránulos de almidón alterados por el tratamiento térmico y mecánico, tienen un punto máximo dependiente de la naturaleza genética del almidón, en el cual se alcanza la máxima viscosidad de la pasta y se da comienzo a la dextrinización, por el incremento continuo de la temperatura. Por lo cual, se produce una disminución del IAA, debido a que el tratamiento térmico es más severo. Esto ocasiona un daño total del almidón, y por tanto, un aumento de los componentes solubles en la dispersión (Carvalho *et al.*, 2010).

Si bien la absorción de agua se ve influenciada por las características granulométricas de la harina (Schmiele *et al.*, 2011), no es este el único factor con el que se encuentra relacionado. El índice de absorción de agua depende igualmente de la conformación molecular y del número de enlaces de las moléculas, lo que implica una fuerte influencia de la composición química de la harina (Rodrigues *et al.*, 2011). Se ha establecido que las

harinas ricas en fibra y en proteína no formadora de gluten, pueden favorecer el aumento de la absorción de agua, ya que estos componentes compiten bien por las moléculas de agua (Da Silva *et al.*, 2013; Da Silva *et al.*, 2011) .

A partir de los resultados de la Tabla 10, la fibra de piña mostró el mayor nivel de hidratación, entre las harinas puras, lo que puede deberse al alto contenido de polisacáridos distintos al almidón, mayormente insolubles, que tienen una capacidad de hidratación entre 6 y 10 veces su peso en agua (Jeantet *et al.*, 2010). A diferencia de las harinas de trigo, garbanzo y maíz, la fibra de piña contiene alrededor de 13,65% de fibra, siendo un 11,57% fibra insoluble, además de 19,41% de celulosa y 18,63% de hemicelulosa (Elizondo & Campos, 2014; Ramírez & De Delahaye, 2009), mientras que el contenido de fibra en la harina de trigo es de aproximadamente 3,01% (Bae *et al.*, 2014), en el maíz de 7,29% (Shukla & Cheryan, 2001) y en el garbanzo de 22,9% (Sanjeewa *et al.*, 2010). Estos componentes, le confieren a la fibra de piña una gran capacidad de absorción de agua, lo que se observó en el índice de absorción de agua (IAA) y en poder de hinchamiento (PH), ya que la fibra de piña presentó los valores más altos comparados con las otras harinas puras.

Por otra parte, el alto ISA de la harina de garbanzo puede ser atribuido a su alto contenido de proteínas hidrosolubles, el cual es de alrededor de 14,62%, donde el 10,54% son globulinas y el 4,08% albuminas (Da Silva *et al.*, 2001), cantidad que es mucho mayor al de la harina de trigo, que es de alrededor de 1,61% (García & Carbonero, 1983) y de la harina de maíz, que tiene cerca de 1,33% de proteínas hidrosolubles (Rivas *et al.*, 2003).

Respecto a las harinas compuestas para la elaboración de galletas, se observó que los niveles de hidratación aumentan a medida que se incrementa la sustitución de harina de trigo, es decir, al aumentarse el porcentaje de sustitución, el IAA y el PH, presentaron valores más altos. Esto se puede explicar como resultado del mayor contenido de fibra, de proteínas hidrosolubles y de almidón provenientes del garbanzo y maíz (Sanjeewa *et al.*, 2010; Rivas *et al.*, 2003; Da Silva *et al.*, 2001; Shukla & Cheryan, 2001). El ISA en la harinas compuestas para galletas, presentan valores similares.

Las harinas compuestas para elaboración de panes exhibieron un comportamiento similar tanto para la capacidad de hidratación como para la solubilidad, que las harinas para galletas. Por tanto, se estableció que estas propiedades funcionales de las harinas dependen de la composición de la misma y se pueden ver fuertemente influenciadas por el contenido de fibra y de proteínas hidrosolubles.

En la elaboración de panes, la absorción de agua es crítica, debido a que se encuentra relacionada con el rendimiento del producto final. Por ello, en la formulación de productos de panificación, es deseable valores altos de absorción de agua, ya que permiten una mayor incorporación de agua a la masa, aumentando el rendimiento del producto final (Moreira *et al.*, 2007). Por el contrario, para galletería se prefieren harinas con bajo poder de absorción,

para añadir la mínima cantidad de agua posible a la mezcla, obteniendo un producto final casi seco (A.A.P.P.A, 2004; Manley, 1989).

Si bien en las harinas destinadas para la elaboración de panes, el IAA de agua es un punto clave para las características del producto final, puede no llegar a ser un factor determinante para la elección de una harina óptima para el desarrollo de un pan con buen volumen. Esto se explicara más adelante, ya que la presencia de fibra y de proteínas hidrosolubles, que aunque aumentan la capacidad de adsorción de agua, interfiere en la apropiada formación de la red de gluten, indispensable en el desarrollo de la masa para pan (Da Silva *et al.*, 2013).

8.1.3 Reología

8.1.3.1.1 Viscosidad aparente

La viscosidad está relacionada con el IAA, ya que el incremento de la viscosidad es el resultado de la absorción de agua y el hinchamiento de los gránulos de almidón dañados, (Carvalho *et al.*, 2010). Sin embargo, otros componentes como la fibra y las proteínas pueden influenciar fuertemente este parámetro.

En las Figuras 12 a 14, se ilustra el comportamiento de la viscosidad de las suspensiones con respecto a la velocidad de deformación de las harinas puras (trigo, garbanzo y maíz), las harinas compuestas para galletas y las harinas compuestas para panes, respectivamente.

A partir de la Figura 12, se observó que al aplicar la misma variación de velocidad de deformación, la suspensión de harina de trigo presenta una mayor viscosidad, lo que puede ser atribuido a una mejor formación de la red de gluten, por su alto contenido de amilosa y amilopectina. La harina de garbanzo presentó una viscosidad inferior a la harina de trigo, pero más alta que la de harina de maíz, lo cual se puede explicar por su alto contenido de proteínas y fibra, que absorben gran cantidad de agua y ocasionan el aumento de la viscosidad.

El alto contenido de fibra y proteínas no formadoras de gluten en las harinas de garbanzo y maíz, ocasionan un interrupción en la adecuada formación de la red de gluten, lo que disminuye la resistencia y la viscosidad de la pasta, y por tanto, de cualquier masa que se elabore con estas harinas (Da Silva *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2007).

A partir de los resultados, se estableció que la harina de trigo presentaba mejores características para el desarrollo de productos de panadería, ya que al tener una viscosidad mayor, tendrá una mayor resistencia. Esto, le permitirá ocluir los gases desarrollados en los

procesos fermentativos, puesto que opondría una resistencia mayor a la fuerza perpendicular ejercida por los gases, evitando así su escape hacia el exterior (Da Silva *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2007).

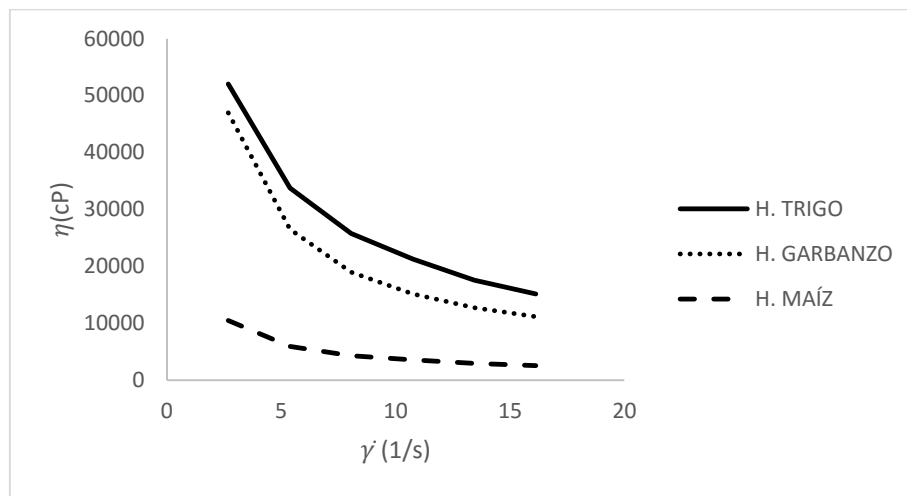


Figura 12. Variación de la viscosidad aparente de las suspensiones de harina de trigo, harina de garbanzo y harina de maíz.

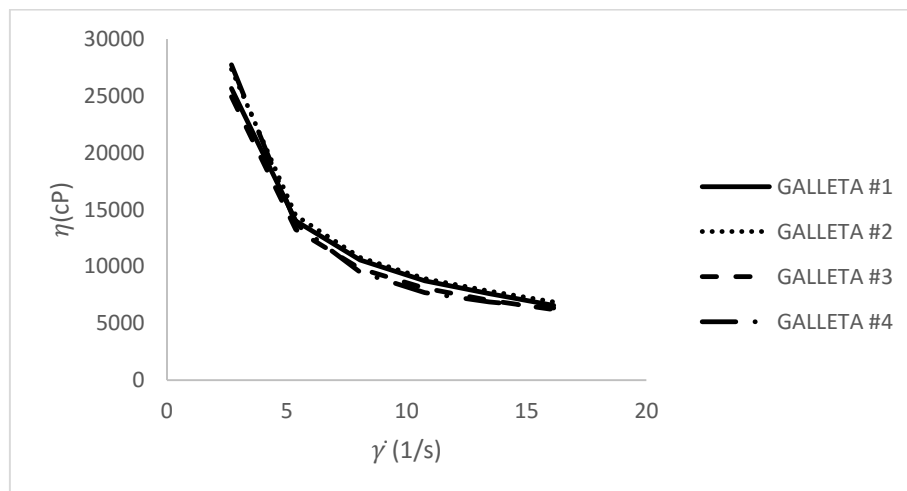


Figura 13. Variación de la viscosidad aparente de las suspensiones de las harinas compuestas para galletas.

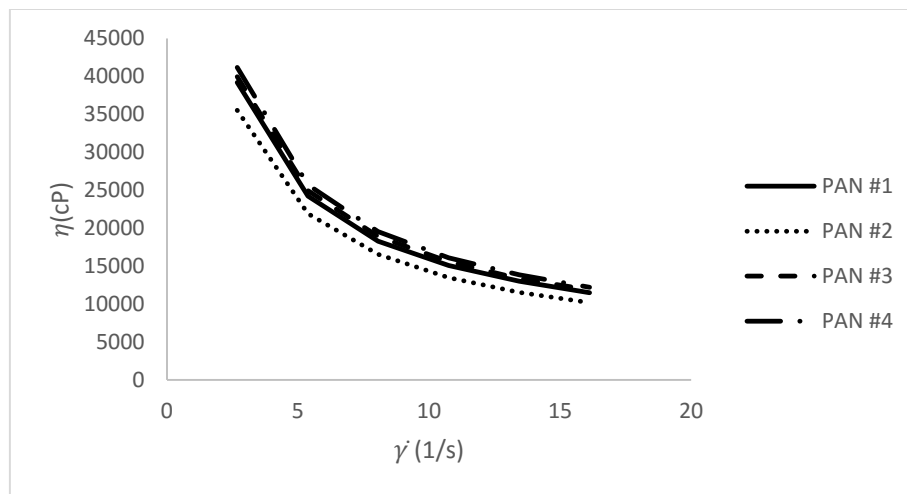


Figura 14. Variación de la viscosidad aparente de las suspensiones de las harinas compuestas para pan.

Respecto a las Figuras 13 y 14, los resultados de las harinas compuestas fueron similares entre las destinadas para galletas y las de pan. Las últimas presentaron valores mayores de viscosidad, lo que se debió a la presencia de harina de trigo en mayor proporción. Sin embargo, las viscosidades de las harinas compuestas para la elaboración de pan, mostraron viscosidades por debajo de los valores para harina de trigo, lo que pudo deberse al incremento de fibra y proteínas no formadoras de gluten en la formulación.

La disminución de la viscosidad en las suspensiones de harinas compuestas para panes, indicó una disminución de la resistencia de la pasta, por tanto, se puede esperar que las masas elaboradas con estas harinas compuestas tengan menos capacidad de retención de gases, por lo que, los productos obtenidos pueden presentar un menor crecimiento en volumen comparado con un pan elaborado solo con harina de trigo (Da Silva *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2007).

Finalmente, las suspensiones estudiadas muestran un comportamiento característico de un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico, en donde la viscosidad disminuye conforme se aplica una velocidad de deformación mayor. El comportamiento obtenido, puede compararse con los resultados obtenidos con suspensiones de harina precocida de yuca (Rodríguez *et al.*, 2006) y con harinas de maíz, arroz y quinua (Ortega *et al.*, 2013).

8.2 Evaluación de las propiedades texturales de las masas

8.2.1 Prueba de textura para las masas (compresión uniaxial)

En la Tabla 10, se encuentran registrados los valores promedios de fuerza obtenidos de la prueba de compresión uniaxial para las masas de los panes y de las galletas, elaboradas con harina de trigo y con las diferentes harinas compuestas (Ver anexo Tabla A1).

Mediante la Tabla 11, se demostró que la inclusión de las harinas compuestas, genera diferencia en la fuerza de compresión de las masas para galletas o para panes, en comparación con las masas elaboradas con 100% harina de trigo. En las masas para panes, se observó una disminución de la fuerza de compresión a medida de que aumentaba el porcentaje de sustitución, mientras que en las masas para galletas, se produjo el efecto contrario.

Tabla 11. Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina compuesta en la textura de las masas de los panes y galletas.

MASA PAN	FUERZA COMPRESIÓN (N)	MASA GALLETA	FUERZA COMPRESIÓN (N)
Pan Blanco	132,9±3,62	Galleta Blanca	12,45±0,63
Pan #1	62,06±3,04	Galleta #1	16,12±0,95
Pan #2	64,44±2,72	Galleta #2	16,95±0,60
Pan #3	41,12±2,12	Galleta #3	24,71±1,33
Pan #4	19,10±0,85	Galleta #4	24,84±0,59

La fuerza de compresión fue considerablemente mayor en la masa para pan blanco, debido a la adecuada formación de la red de gluten, que cumple un papel importante en elaboración de pan y la obtención de un buen producto. La reducción de la fuerza de compresión, con el aumento del porcentaje de harina compuesta en la formulación, se atribuye principalmente al incremento del contenido de fibra y a las proteínas no formadoras de gluten, albúminas y globulinas, en la masa.

Se ha citado que la fibra, principalmente la porción insoluble interactúa con las proteínas, interrumpiendo físicamente la formación de la estructura de la red de gluten, lo que generaría debilitamiento y posible ruptura de dicha matriz, con la consiguiente pérdida de las propiedades viscoelásticas de la masa y por tanto, de las características deseables en un pan. Del mismo modo, se expone que la fibra en general y las proteínas no formadoras de gluten, son fuertes competidores por el agua de la formulación, ocasionando que ésta no quede disponible para la hidratación completa y así su baja contribución a la formación de la red de gluten y al tiempo su debilitamiento (Da Silva *et al.*, 2013; Da Silva *et al.*, 2011; Moreira *et al.*, 2007).

Por el contrario, en el proceso empleado para la elaboración de las galletas no se requiere el desarrollo de una red de gluten, ni se incluye agua adicional a la que hace parte de los ingredientes. Por ello, el aumento de la fuerza de compresión se debe a un incremento de sólidos en la masa, debido principalmente a la fibra presente, ya sea de la cáscara de piña o de la parte de pericarpio o salvado del garbanzo y del maíz, el cual no fue retirado en el proceso de obtención de las harinas y cuyas partículas eran de un tamaño mayor.

8.3 Evaluación de las propiedades de los productos

8.3.1 Productos obtenidos

En las Tablas 12 y 13, se muestran las galletas y los panes obtenidos con cada una de las harinas compuestas, respectivamente; además del producto control para cada caso.

Tabla 12. Galletas obtenidas con las diferentes harinas compuestas y con harina de trigo.

Producto	Ilustración producto obtenido
Galleta control: 100% harina de trigo	
Galleta #1: 20% harina de trigo, 35% harina de garbanzo, 35% harina de maíz y 10% fibra de piña	
Galleta #2: 10% harina de trigo, 35% harina de garbanzo, 45% harina de maíz y 10% fibra de piña	
Galleta #3: 10% harina de trigo, 45% harina de garbanzo, 35% harina de maíz y 10% fibra de piña	
Galleta #4: 0% harina de trigo, 45% harina de garbanzo, 45% harina de maíz y 10% fibra de piña	

Tabla 13. Panes obtenidos con las diferentes harinas compuestas y con harina de trigo.

Producto	Ilustración producto obtenido
Pan control: 100% harina de trigo	
Pan #1: 67% harina de trigo, 15% harina de garbanzo, 15% harina de maíz y 3% fibra de piña	
Pan #2: 62% harina de trigo, 15% harina de garbanzo, 20% harina de maíz y 3% fibra de piña	
Pan #3: 62% harina de trigo, 20% harina de garbanzo, 15% harina de maíz y 3% fibra de piña	
Pan #4: 57% harina de trigo, 20% harina de garbanzo, 20% harina de maíz y 3% fibra de piña	

De acuerdo con las ilustraciones de las Tablas 12 y 13, se observó que los productos obtenidos presentaron una forma similar al producto control o a productos encontrados en el mercado. Sin embargo, presentan diferencias que pueden ser observadas a simple vista, como el color y el volumen, y que son analizadas a continuación.

8.3.2 Color de los productos

El color se analizó mediante el cambio de este parámetro entre la harina y el producto obtenido al final del proceso de elaboración. En las Figura 15 y 16, se presenta el cambio de color entre las harinas empleadas en la elaboración de galletas y panes y el producto obtenido con cada una, respectivamente.

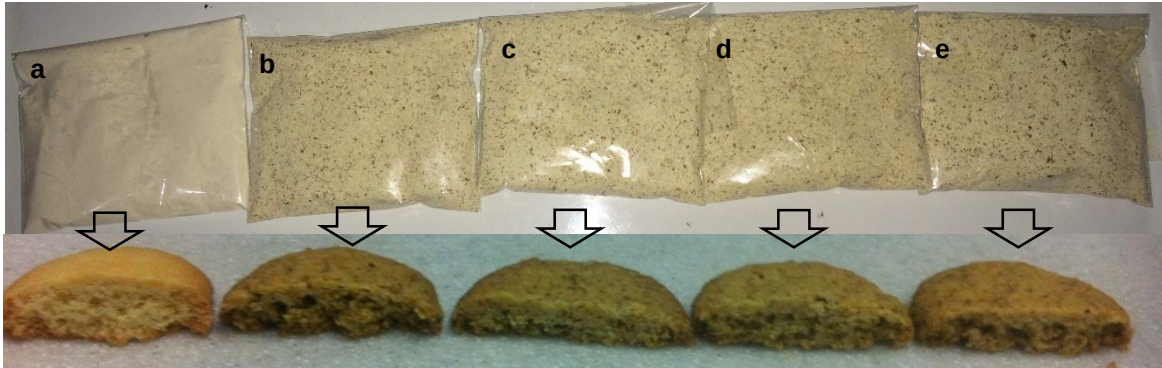


Figura 15. Variación del color entre la harina y las galletas obtenidas de cada una. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.

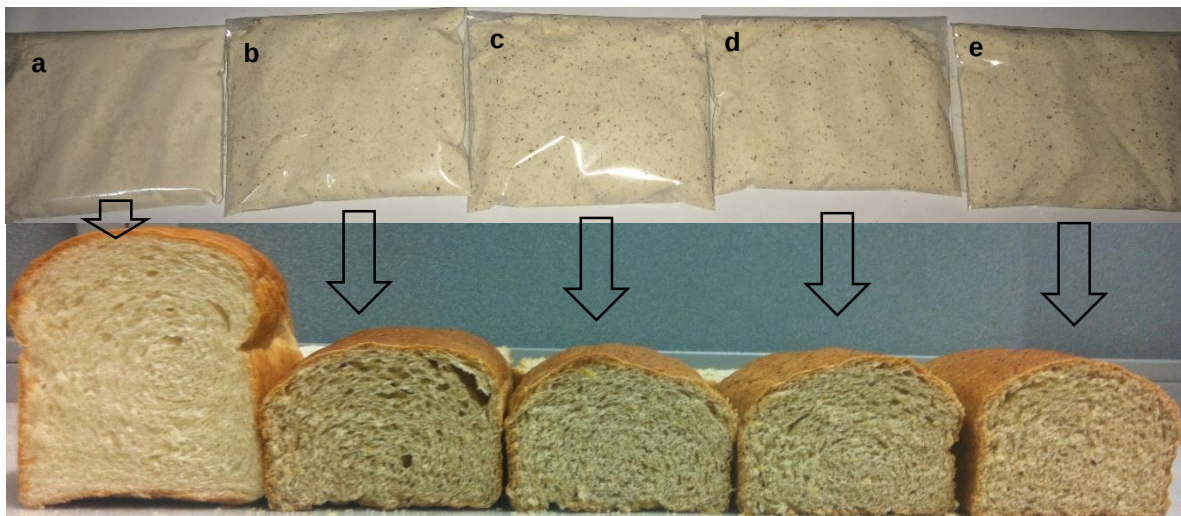


Figura 16. Variación del color entre la harina y los panes obtenidos de cada una. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.

En las Tablas 14 y 15 se encuentran consignados los resultados de diferencia total de color (ΔE) y la diferencia de los atributos perceptuales de luminosidad (ΔL), croma (ΔC) y tono (Δh) en orden, durante la elaboración de galletas y panes.

Tabla 14. Cambio total de color y en los atributos perceptuales en la elaboración de las galletas.

MUESTRA	ΔE (%)	ΔL (%)	ΔC (%)	Δh (%)
Galleta blanca	17,65 $\pm$ 0,33	-13,79 $\pm$ 0,48	352,48 $\pm$ 2,16	-14,68 $\pm$ 0,43
Galleta #1	13,83 $\pm$ 0,63	-14,52 $\pm$ 0,50	180,23 $\pm$ 14,12	-10,98 $\pm$ 0,91
Galleta #2	14,62 $\pm$ 0,33	-4,47 $\pm$ 0,21	198,89 $\pm$ 6,39	-11,66 $\pm$ 0,57
Galleta #3	13,91 $\pm$ 0,47	-7,72 $\pm$ 0,33	171,63 $\pm$ 7,56	-9,41 $\pm$ 0,54
Galleta #4	12,76 $\pm$ 0,46	0,98 $\pm$ 0,03	147,11 $\pm$ 2,91	-9,35 $\pm$ 0,41

A partir de la Tabla 14, se estableció que en la elaboración de las galletas, se produjo un cambio de color fácilmente identificable por los cambios generados en los atributos perceptuales. La luminosidad disminuyó, generando un oscurecimiento del producto final. Igualmente, se evidencia un cambio de tono hacia el lado derecho del plano cromático y un aumento de la saturación de las moléculas de color; dichas variaciones, se atribuyen a las reacciones de Maillard y de caramelización generadas durante el horneado. Como el croma y el tono dependen de las coordenadas a^* y b^* , se identificó que el cambio se produjo hacia un color más amarillo con una pequeña carga de rojo, que junto con la disminución de la luminosidad, se traduce en una coloración café clara.

La galleta blanca presentó en su coloración un cambio más representativo hacia el color amarillo, por lo que estas presentan una tonalidad más clara, tal como se muestra en la Figura 15. Los resultados son comparables con lo reportado para galletas con harina de salvado de avena (Eglantina & Culetu, 2015), en galletas con harina de avena (Marques *et al.*, 2009) y con galletas con harina de okara (Larosa *et al.*, 2006).

Tabla 15. Cambio total de color y en los atributos perceptuales en la elaboración de los panes.

MUESTRA	ΔE (%)	ΔL (%)	ΔC (%)	Δh (%)
PAN BLANCO	29,64 $\pm$ 0,65	68,38 $\pm$ 0,85	421,74 $\pm$ 27,53	2,14 $\pm$ 0,18
PAN #1	19,14 $\pm$ 0,95	30,74 $\pm$ 1,58	305,15 $\pm$ 17,91	-6,31 $\pm$ 0,82
PAN #2	19,55 $\pm$ 0,56	29,89 $\pm$ 0,71	318,78 $\pm$ 9,69	-6,52 $\pm$ 0,41
PAN #3	15,38 $\pm$ 0,28	18,84 $\pm$ 0,66	240,60 $\pm$ 3,74	-5,92 $\pm$ 0,11
PAN #4	15,78 $\pm$ 0,32	26,23 $\pm$ 0,96	242,60 $\pm$ 3,74	-7,98 $\pm$ 0,24

Con la Tabla 15, se identificaron cambios en el color durante la elaboración de los panes, igualmente visibles como en la elaboración de las galletas. Sin embargo, los productos presentan un color café mucho más claro, que puede ser atribuido a la expansión de la masa y la formación de los alveolos en la miga del pan, generando un aumento de la luminosidad. El pan blanco presentó una variación significativamente mayor hacia el amarillo y poca hacia el rojo, comparada con los panes elaborados con las harinas compuestas, percibiéndose una tonalidad menos intensa, como se presenta en la Figura 16.

Resultados similares, en cuanto a los cambios de tonalidad hacia el rojo y el amarillo, fueron reportados en estudios, para pan de sal enriquecido con harina integral de linaza (Da Silva *et al.*, 2013) y en pan de forma con harina mixta de trigo y quinua (Schmiele *et al.*, 2011). Sin embargo, los resultados en cuanto al cambio en la luminosidad son contrarios, ya que los investigadores reportan oscurecimiento de los productos, mientras que los resultados obtenidos en el presente estudio, establecen un aumento en la luminosidad. Las diferencias de resultados pueden ser debido a diferencias experimentales con respecto al protocolo definido para la medición de los parámetros de color o la composición de la harina compuesta empleada para la elaboración de los panes.

En general, los productos obtenidos a partir de las harinas compuestas, presentan una coloración más oscura e intensa que los productos de control elaborados con harina de trigo, siendo similar al color que presentan los productos de panificación definidos como integrales. Coloración que puede atribuirse a la diferencia de color que existe entre la harina de trigo y las harinas de garbanzo, maíz y fibra de piña. En comparación con la harina de trigo, las otras harinas presentan una menor luminosidad, en mayor magnitud en la harina de fibra de piña, y una tendencia mayor al amarillo y al rojo, con excepción de la harina de maíz, que presenta un ligero tono verdoso. Duodu & Minnaar (2011) destacan el oscurecimiento de los productos horneados con la incorporación de legumbres debido a que pueden facilitar las reacciones de Maillard por los altos niveles de lisina. Igualmente, Mohammed *et al.* (2012) establecieron que la inclusión de harina de garbanzo generó un oscurecimiento de la miga del pan, el cual fue atribuido al incremento de las reacciones de Maillard durante el horneado por el alto contenido de lisina presente en la leguminosa.

8.3.3 Volumen de los panes y estructura de la miga del pan

En la Tabla 13, se encuentran los valores promedio de volumen general de los panes obtenidos con cada una de las harinas compuestas (Ver anexo Tabla A1) y con harina de trigo.

Tabla 16. Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina compuesta en el volumen general del pan.

PAN	VOLUMEN (mL)
Pan Blanco	1350±13
Pan #1	800±10
Pan #2	800±20
Pan #3	750±10
Pan #4	700±10

En la Figura 17, se muestra el cambio de volumen de los panes de una formulación a otra.



Figura 17. Efecto de la formulación de harina en el volumen del pan. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.

La Tabla 13, muestra como la harina compuesta provocó una reducción en el volumen del pan, la cual se observa en la Figura 13. Esta disminución, puede ser atribuida al debilitamiento y la inadecuada formación de la red de gluten en la masa, debido al incremento de fibra y proteínas no formadoras de gluten en la formulación, por lo cual se perdería capacidad de expansión y de retención de los gases resultantes de la fermentación de la misma, lo que ocasionaría finalmente un pan de menor volumen, después del horneado. Resultados similares fueron encontrados en la elaboración de pan con inclusión de harina de linaza (Moreira *et al.*, 2007), con harina de sorgo (Surco & Alvarado, 2010), con harina integral de linaza (Da Silva *et al.*, 2011), con harina de garbanzo por (Mohammed *et al.*, 2012), con harina de quinua (Da Silva Borges *et al.*, 2013) y con harina de amaranto, garbanzo, maíz, mijo, quinua y arroz (Burešová *et al.*, 2014).

El análisis descriptivo para los efectos principales de los factores, ilustrado en la Figura A2 (Ver anexo), mostró que con el nivel de 15% de cualquiera de los factores se obtuvieron panes con mayor volumen, siendo más representativo el crecimiento del pan con harina de garbanzo. De la interacción de los factores, como se muestra en la Figura A3 (Ver anexo), se identificó que entre los factores harina de garbanzo y harina de maíz existe una interacción, la cual pudo ejercer un efecto significativo sobre los resultados del volumen de los panes.

Los resultados del ANOVA, registrados en la Tabla A2 (Ver anexo), mostraron que el valor-P para cada uno de los factores, harina de garbanzo y harina de maíz, como para la interacción de estos, es menor que el nivel de significancia establecido del 5%. Por tanto, se rechazaron las hipótesis nulas (H_0) planteadas para cada factor y para la interacción de éstos, y se estableció que el efecto tanto de los factores individuales como de su interacción sobre el volumen del pan, fue significativo.

La existencia de un efecto significativo de la interacción de los factores, indica que no es posible estudiar el efecto de uno de los factores sobre el volumen del pan independiente del otro factor (Ferré & Rius, 2002) Por lo que, se realizó la prueba de comparación por el test de Tukey con un nivel de significancia del 5%, para identificar el nivel o los niveles de la interacción que ejercieron un efecto diferente sobre el volumen del pan.

La prueba de comparación para la interacción de las harinas de garbanzo y de maíz, consignada en la Tabla A3 (Ver anexo), indicó que las formulaciones de harinas compuestas para pan #1 (15% de harina de garbanzo y 15% de harina de maíz) y la #2 (15% de harina de garbanzo y 20% de harina de maíz) presentaron efectos similares en el volumen del pan. Pero, su efecto es diferente al de las formulaciones #3 (20% de harina de garbanzo y 15% de harina de maíz) y #4 (20% de harina de garbanzo y 20% de harina de maíz). Puesto que, el pan con mayor volumen es más apreciado por el consumidor, se estableció que los panes elaborados con las formulaciones #1 y #2, presentan un volumen mejor que los elaborados con las otras dos formulaciones.

La verificación del modelo para el volumen del pan se realizó mediante la validación de los supuestos por análisis gráfico, como se muestra en la figura A4 (Ver anexo).

El debilitamiento de la red de gluten y la reducción del volumen del pan, igualmente puede relacionarse con la obtención de una miga con estructura más compacta y con alvéolos más pequeños e irregulares, tal como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Efecto de la formulación de harina en la estructura de la miga del pan. a. 100% harina de trigo; b. Harina compuesta #1; c. Harina compuesta #2; d. Harina compuesta #3; e. Harina compuesta #4.

8.3.4 Evaluación de la textura de los panes

La dureza de los panes es la característica de textura más evidente percibida por los consumidores y que puede determinar en gran medida la aceptabilidad del producto. En productos de panificación la textura se mide mediante la fuerza máxima que se ejerza a la primera mordida o también, la que se pueda registrar con un equipo que imite esta acción. Esta fuerza depende de la formulación (calidad de la harina, cantidad de azúcares, grasas, emulsificantes, enzimas, gluten y mejoradores), humedad de la masa y su estabilidad inherente (Da Silva *et al.*, 2011).

En la Tabla 17, se encuentran registrados los valores promedios de dureza obtenidos de la prueba de compresión uniaxial para los panes, utilizando un texturómetro. Se muestran panes elaborados con harina de trigo y las diferentes harinas compuestas.

Tabla 17. Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina compuesta en la dureza del pan.

PAN	DUREZA (N)
Pan blanco	8,53±0,29
Pan #1	9,63±0,85
Pan #2	15,19±0,64
Pan #3	15,98±0,09
Pan #4	17,12±0,46

A partir de la Tabla 17, se observó que el aumento del porcentaje de harina compuesta en la formulación para pan, provocó un aumento en la dureza del producto final, lo cual se atribuyó a un mayor contenido de fibra y a la inadecuada formación de la red de gluten, dando como resultado una miga más compacta y por tanto, con mayor dureza. En general, estos resultados concuerdan con panes elaborados con altos contenidos de fibra y bajos niveles de proteínas formadoras de gluten, que producen texturas más firmes. Así, se puede comparar con lo reportado para panes elaborados con harina de linaza (Moreira *et al.*, 2007); en panes con harina de garbanzo (Mohammed *et al.*, 2012); en panes con harina de quinua (Da Silva *et al.*, 2013) y con panes con harinas de maíz y de garbanzo (Burešová *et al.*, 2014).

Con el análisis descriptivo para los efectos principales de los factores, como se muestra en la Figura A5 (Ver anexo), se estableció que utilizando el 15% en cualquiera de los factores se obtuvieron panes con menor dureza. De la interacción de los factores, como se muestra en la Figura A6 (Ver anexo), se identificó que entre los factores harina de garbanzo y harina de maíz no existe indicio una interacción, por lo que, ésta pudo no tener un efecto significativo sobre los resultados de la dureza de los panes.

El análisis de varianza ANOVA, registrado en la Tabla A4 (Ver anexo), mostró que el valor-P para cada uno de los factores, harina de garbanzo y harina de maíz, como para la interacción de estos, es menor que el nivel de significancia establecido del 5%. Por tanto, se rechazaron las hipótesis nulas (H_0) planteadas para cada factor y para la interacción de éstos, y se estableció que el efecto tanto de los factores individuales como de su interacción sobre la dureza del pan, fue significativo.

Dada la existencia de un efecto significativo de la interacción de los factores, se realizó la prueba de comparación por el test de Tukey con un nivel de significancia del 5%, para identificar el nivel o los niveles de la interacción que ejercieron un efecto diferente sobre la dureza del pan.

A partir de la prueba de comparación para la interacción de las harinas de garbanzo y de maíz, consignada en la Tabla A5 (Ver anexo), se identificó que las formulaciones de harinas compuestas para pan #1 (15% de harina de garbanzo y 15% de harina de maíz), #2 (15%

de harina de garbanzo y 20% de harina de maíz) y #4 (20% de harina de garbanzo y 20% de harina de maíz) presentaron efectos diferentes sobre la dureza del pan.

La verificación del modelo para la dureza del pan se realizó mediante la validación de los supuestos por análisis gráfico, como se muestra en la figura A7 (Ver anexo).

Debido a que la dureza del pan se relaciona con la fuerza usada para la masticación humana y el grado de frescura del pan (Moreira *et al.*, 2007), se concluyó que los panes elaborados con la formulación #1, tiene una mejor característica textural, ya que el valor medio de dureza es inferior a los obtenidos con las otras formulaciones.

8.3.5 Evaluación de la textura de la galleta

En la Tabla 18, se encuentran registrados los valores promedios de dureza obtenidos de la prueba de penetración para las galletas, elaboradas con harina de trigo y las diferentes harinas compuestas.

Tabla 18. Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina compuesta en la dureza de las galletas.

GALLETA	DUREZA (N)
Galleta blanca	15,73±0,20
Galleta #1	12,48±0,36
Galleta #2	8,19±0,15
Galleta #3	17,86±0,46
Galleta #4	7,82±0,28

A partir de la Tabla 18, se estableció que la sustitución de harina de trigo por harina compuesta, generaba diferencias significativas en la dureza de las galletas elaboradas con las diferentes harinas compuestas con respecto a la galleta blanca (Ver anexo Tabla A1), la cual fue usada como control. Sin embargo, no se logró identificar una tendencia en el efecto generado por el aumento de la sustitución sobre las características texturales de las galletas. La variación de los resultados, pudo ser debido a que las muestras no presentaban el mismo nivel de humedad al momento de la ejecución de la prueba de penetración. Situación percibida en una textura blanda de las galletas, la cual fue ocasionada por un almacenamiento inadecuado de las muestras antes de las mediciones.

Los cambios provocados en las características organolépticas de las galletas durante la realización del estudio, pudieron generar alteraciones en los resultados obtenidos de dureza, por tanto, no se llevó a cabo el análisis estadístico, ya que se verá afectado, arrojando conclusiones erróneas.

Aunque la prueba no arrojó resultados concluyentes, se debe considerar que la dureza es un factor que determina fuertemente la aceptación de un alimento por el consumidor, por lo que es deseable que sus valores sean bajos (Marquez *et al.*, 2009). Igualmente, se debe tener en cuenta que las galletas, al ser un producto seco, pueden adsorber de manera fácil y rápida, humedad del ambiente, por lo que es necesario que su envasado se haga en el menor tiempo posible, luego de su enfriamiento. Por la misma razón, debe usarse un material de envasado adecuado, para evitar la permeabilidad de la humedad del ambiente hacia el producto y por tanto, un cambio negativo en sus características organolépticas.

8.3.6 Evaluación sensorial

En la Figura 19, se muestra la representación gráfica del perfil sensorial obtenido con el panel sensorial, para las galletas elaboradas con las diferentes harinas compuestas (Ver anexo Tabla A1).

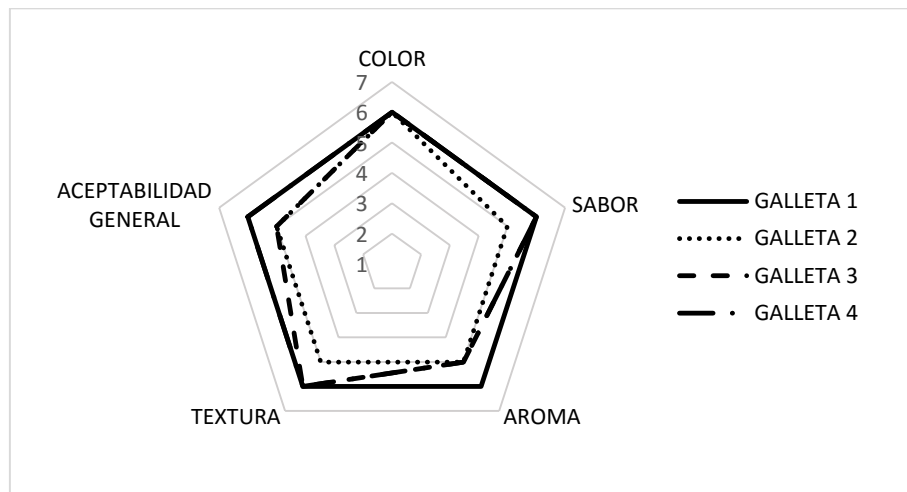


Figura 19. Variación de la puntuación de los atributos sensoriales de las galletas elaboradas con las diferentes harinas compuestas

A partir del perfil sensorial de las galletas, Figura 19, se observó que las galletas elaboradas con los diferentes porcentajes de harina compuesta, presentaron buena aceptación entre los panelistas, con puntuaciones entre me gusta levemente, para un valor de 5, y me gusta moderadamente, valor de 6. Sin embargo, las galletas elaboradas con la formulación #1 (Ver anexo Tabla A1), presentaron mejores puntuaciones para todos los atributos evaluados, con valor de 6, comparadas con las obtenidas con las otras formulaciones, por lo que, se estableció que estas galletas tuvieron una mayor aceptación sensorial por parte de los panelistas.

Igualmente, se establecieron diferencias entre las muestras con respecto a los atributos de sabor, aroma y textura, lo cuales marcaron la diferencia global entre las mismas.

En la Figuras 20, se muestra la representación gráfica del perfil sensorial obtenido con el panel sensorial, para los panes elaborados con las diferentes harinas compuestas (Ver anexo Tabla A1).

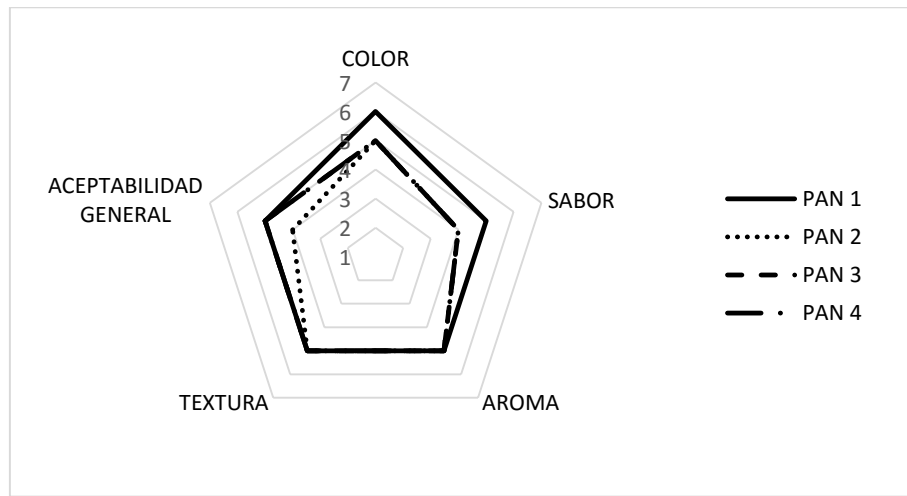


Figura 20. Variación de la puntuación de los atributos sensoriales de los panes elaborados con las diferentes harinas compuestas.

Del perfil sensorial de los panes, Figura 20, se estableció que los panes elaborados con las diferentes harinas compuestas, presentaron un nivel de aceptación levemente inferior al obtenido por las galletas. Se obtuvieron, puntuaciones entre no me gusta ni me disgusta, valor de 4, y me gusta moderadamente, para un valor de 6. De igual forma, se encontraron diferencias entre las muestras con respecto a los atributos de color, sabor y aceptabilidad general.

Los panes que obtuvieron la mejor aceptación sensorial por parte de los panelistas, fueron los realizados con la formulación #1 (Ver anexo Tabla A1), lo cual se evidenció en puntuaciones mayores para todos los atributos, con respecto a las puntuaciones obtenidas de los panes elaborados con las otras formulaciones.

En la Tabla 18, se presentan los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial con el panel, para los atributos de color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general, de las galletas elaboradas con las diferentes harinas compuestas (Ver anexo Tabla A1).

Tabla 19. Resultados de la evaluación sensorial de las galletas.

GALLETA	COLOR	SABOR	AROMA	TEXTURA	ACEPTABILIDAD GENERAL
Galleta #1	5,86±0,84	5,88±1,26	5,67±1,17	5,75±1,23	5,91±0,95
Galleta #2	5,65±1,00	5,22±1,26	5,11±1,15	5,15±1,42	5,25±1,15
Galleta #3	5,70±0,90	5,52±1,15	5,35±1,07	5,72±1,14	5,47±1,05
Galleta #4	5,78±0,87	6,21±5,10	5,26±1,19	5,67±1,35	5,61±1,11

A partir del análisis de los efectos principales de los factores, sobre cada uno de los atributos sensoriales evaluados, representado en las Figuras A8 para color, A11 para sabor, A14 para aroma, A17 para textura y A20 para la aceptabilidad general (Ver anexo), se estableció que empleando un nivel de 35% en cualquiera de los factores, se obtuvieron galletas con puntuaciones más altas en los diferentes atributos.

Del efecto de la interacción de los factores sobre los atributos color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general, como se muestra respectivamente en las Figuras A9, A12, A15, A18 y A21 (Ver anexo), se identificó que entre los factores harina de garbanzo y harina de maíz solo existe indicio de interacción, en el atributo sabor.

Los resultados del ANOVA para los atributos de color, sabor y textura, registrados respectivamente en las Tablas A6, A7, y A10 (Ver anexo), mostraron que el valor-P para cada uno de los factores, harina de garbanzo y harina de maíz, como para la interacción de estos, es mayor que el nivel de significancia establecido del 5%. Por tanto, se aceptaron las hipótesis nulas (H_0) planteadas para cada factor y para la interacción de éstos, y se estableció que el efecto tanto de los factores individuales como de su interacción sobre los atributos de color, sabor y textura evaluados en la galletas, no fue significativo.

El análisis ANOVA para el atributo aroma, consignado en la Tabla A8 (Ver anexo), exhibió un valor-P menor al nivel de significancia del 5%, solamente para el factor harina de garbanzo, por lo que, su efecto es significativo sobre el aroma de las galletas. Con la prueba de comparación por el test de Tukey para este factor, registrada en la Tabla A9 (Ver anexo), se identificó que las galletas elaboradas con 35% de harina de garbanzo, tuvieron una puntuación más alta con respecto al aroma, que las galletas con el 45%.

En cuanto a la aceptabilidad general, el ANOVA presentado en la Tabla A11 (Ver anexo), mostró un valor-P menor al nivel de significancia del 5%, para harina de garbanzo como para harina de maíz, por tanto, el efecto de los factores individualmente sobre este atributo, es significativo estadísticamente. De la prueba de comparación por el test de Tukey para los factores, presentada en las Tablas A12 (Ver anexo) para harina garbanzo y A13 (Ver anexo) para harina de maíz, se estableció que las galletas elaboradas con 35% de harina de garbanzo o de harina de maíz, exhibieron una puntuación más alta con respecto a la aceptabilidad general, comparadas con las galletas con 45% de harina de garbanzo o harina de maíz.

La verificación del modelo para el color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general de las galletas se realizó mediante la validación de los supuestos por análisis gráfico, como se muestra en las figuras A10, A13, A16, A19 y A22 (Ver anexo) respectivamente.

Con el análisis estadístico, se concluyó que las galletas elaboradas con 35% de harina de garbanzo y 35% de harina de maíz, correspondiente a la harina compuesta #1, presentaron un mayor grado de aceptabilidad por parte de los panelistas, resultados que concordaron con los obtenidos en el perfil de textura, ilustrado en la Figura 19.

En la Tabla 19, se presentan los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial con el panel, para los atributos de color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general, de los panes elaborados con las diferentes harinas compuestas (Ver anexo Tabla A1).

Tabla 20. Resultados de la evaluación sensorial de los panes.

PAN	COLOR	SABOR	AROMA	TEXTURA	ACEPTABILIDAD GENERAL
PAN #1	5,55±0,99	4,82±1,47	5,21±1,26	4,98±1,36	5,04±1,26
PAN #2	5,35±1,16	4,10±1,50	4,69±1,32	4,73±1,26	4,48±1,24
PAN #3	5,41±1,06	4,21±1,43	4,91±1,25	4,67±1,30	4,68±1,15
PAN #4	5,40±1,04	4,08±1,50	4,59±1,55	4,91±1,35	4,61±1,25

El análisis descriptivo, para los efectos principales de los factores, sobre cada uno de los atributos sensoriales evaluados, ilustrados en las Figuras A23 para color, A26 para sabor, A29 para aroma, A32 para textura y A35 para la aceptabilidad general (Ver anexo), mostró que los panes elaborados con 15% de harina de garbanzo o de harina de maíz, tuvieron las puntuaciones más altas en los diferentes atributos, a excepción de la textura, ya que los panes con 20% de harina de garbanzo, presentaron igualmente puntajes altos.

Con la interacción de los factores sobre el color, el sabor, el aroma, la textura y la aceptabilidad general de los panes, como se muestra respectivamente en las Figuras A24, A27, A30, A33 y A36 (Ver anexo), se estableció que existe el indicio de interacción entre los factores, para los atributos de sabor, textura y aceptabilidad general.

A partir de los resultados del ANOVA, registrados en las Tablas A14 para color, A15 para sabor, A17 para aroma, A19 para textura y A21 para la aceptabilidad general (ver anexo), se obtuvo en los atributos sabor y aceptabilidad general, un valor-P menor al nivel de significancia del 5% para la interacción, por tanto, se determinó que la interacción de los factores ejerce un efecto significativo sobre el sabor y sobre la aceptabilidad general de los panes.

Para el atributo aroma, se exhibió un valor-P menor al nivel de significancia del 5% para el factor harina de garbanzo, lo que indicó que el efecto de este factor sobre el aroma de los panes, tuvo un efecto significativo. No obstante, el atributo textura mostró un valor-P menor al 5% para el factor harina de maíz, por lo que, el efecto de este factor es significativo sobre la textura de los panes.

Las comparaciones por el test de Tukey, presentadas en las Tablas A16 para la interacción de los factores en el sabor, A18 para el factor harina de garbanzo en el aroma, A20 para el factor harina de maíz en la textura y A22 para la interacción de los factores en la aceptabilidad general, se concluyó que los panes elaborados con 15% de harina de garbanzo y 15% de harina de maíz, correspondiente a la formulación #1, tuvieron puntuaciones más altas para los diferentes atributos sensoriales evaluados, comparadas con los panes obtenidos con las otras formulaciones.

La verificación del modelo para el color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general del pan se realizó mediante la validación de los supuestos por análisis gráfico, como se muestra en las figuras A25, A28, A31, A34 y A37 (Ver anexo) respectivamente.

Los resultados del análisis estadístico para la aceptabilidad sensorial de los panes, fueron coherentes con los obtenidos en el perfil de textura, ilustrado en la Figura 18, siendo los panes elaborados con la formulación #1 (Ver anexo Tabla A1), los que obtuvieron un nivel mayor de aceptación frente a los panelistas.

Cabe destacar, que los resultados obtenidos de color y textura de los productos mediante el panel sensorial, fueron diferentes con respecto a los resultados de las medidas instrumentales, debido a que la percepción de los atributos pudo estar limitada por los gustos de los panelistas y su capacidad de evaluar el producto. Al no ser panelistas totalmente entrenados, la familiarización con el producto no fue del todo adecuada para la evaluación sensorial.

Los panelistas, realizaron dos observaciones muy marcadas referente a las características organolépticas de los productos. Primero, identificaron un sabor residual ligeramente amargo durante la degustación de los productos, lo que pudo provocar una disminución de la puntuación respecto a la percepción del sabor. Y segundo, destacaron cierta similitud de los panes, en cuanto al color y el sabor, con un pan integral comercial, lo que pudo ser debido al alto contenido de fibra en los productos.

Los productos obtenidos con el presente estudio, presentaron un nivel sensorial atractivo para los consumidores. Por tanto, los resultados obtenidos con las galletas son comparables con lo reportado para galletas elaboradas con harina de avena y con harina de arroz parbolizado (Marques *et al.*, 2009), y galletas con harina de okara (Larosa *et al.*, 2006). Igualmente, resultados similares fueron encontrados para pan de sal con harina de trigo y de linaza (Moreira *et al.*, 2007), para pan con harina mixta de trigo y quinua (Da Silva *et al.*, 2013) y para con harina de trigo y garbanzo (Mohammed *et al.*, 2012).

A partir de los resultados obtenidos de dureza, volumen y aceptabilidad por parte del consumidor, se determinó que los productos con la menor sustitución de harina de trigo por harina compuesta de garbanzo, maíz y fibra de piña, sustitución del 80% para las galletas y

del 33% para los panes, presentaron mejores características a nivel instrumental como sensorial. Haciendo de estos productos nuevas opciones, en la elaboración de alimentos con bajos niveles de gluten, con alto contenido de fibra y a base de materias primas alternativas.

9 CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron galletas y panes con sustitución de harina de trigo por harina de garbanzo, maíz y fibra de piña, con características visuales propias de los productos de panificación.
2. Las galletas y los panes obtenidos con harina compuesta de trigo, garbanzo, maíz y fibra de piña, presentaron buena aceptabilidad frente al consumidor, convirtiéndolos en una buena opción para el mercado. Aunque, la sustitución implicará alteraciones de las características físicas de los productos.
3. Harinas compuestas donde se incluyen harinas elaboradas con granos completos de garbanzo, maíz o la totalidad cascara de piña presentaron un aumento en su granulometría, y a su vez, una disminución de su homogeneidad.
4. Los índices de absorción de agua (IAA), solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), fueron influenciados en gran medida por el contenido de fibra, proteínas no formadoras de gluten y almidón presente en la harina
5. Al aumentar la sustitución de harina de trigo por harina compuesta de garbanzo, maíz y fibra de piña, se obtuvieron masas para la elaboración de galletas con mayor resistencia mecánica y masas destinadas para pan con menor resistencia a la fuerza ejercida por los gases desarrollados en procesos fermentativos.
6. Panes elaborados con mayor sustitución de harina de trigo por harina compuesta de garbanzo, maíz y fibra de piña, presentaron una disminución del volumen general, al igual que un incremento de la dureza.
7. Los productos de panificación elaborados con harina compuesta de garbanzo, maíz y fibra de piña, exhibieron una tonalidad con tendencia al café, característica de productos integrales.
8. Las galletas elaboradas con 35% de harina de garbanzo, 35% de harina de maíz y 10% de fibra de piña, presentaron una buena aceptación por los consumidores, debido principalmente a su sabor agradable.
9. La elaboración de panes con 15% de harina de garbanzo, 15% de harina de maíz y 3% de fibra de piña, mostró ser un proceso viable técnicamente, con una buena aceptación de parte de los consumidores.
10. Las galletas polvorosas al no requerir el desarrollo de la red de gluten, permitieron una mayor sustitución de harina de trigo por harinas compuestas, con alto contenido de fibra y de proteínas no formadoras de gluten.

11. Los productos obtenidos con harina compuesta de garbanzo, maíz y fibra de piña, pueden contribuir a la disminución de las importaciones de trigo, y por tanto, a la seguridad alimentaria nacional, igualmente, ser una opción saludable baja en gluten y con alto contenido de fibra a los consumidores.

10 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una evaluación de las características físicas de panes y galletas usando harinas similares retenidas a partir del tamiz #100, con el fin de obtener mayor uniformidad de las masas y del producto final.
- Se recomienda incluir en la evaluación, la variación del contenido de fibra de piña, para comprender el efecto de ésta materia prima sobre el producto final.
- Se recomienda realizar un análisis proximal de los productos obtenidos, con el fin de identificar el aporte nutricional dado por las harinas de garbanzo, maíz y fibra de piña.
- Se recomienda realizar estudios de vida útil, a partir de cambios físicos y microbiológicos, y determinar el uso de conservantes.

11 BIBLIOGRAFÍA

- A.A.P.P.A. (2004). *Introducción a la Tecnología de Alimentos*. Editorial Limusa.
Recuperado a partir de <https://books.google.com/books?id=V2IqmVapJWkC&pgis=1>
- Amendola, J., & Rees, N. (2003). *Understanding Baking: The Art and Science of Baking*. New Jersey, USA: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- ASAE. Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving (2008).
- Asociación Hortifrutícola de Colombia, A. (2013). Aumentan oportunidades para piñicultores colombianos. *Frutas & Hortalizas, Revista de la Asociación Hortifrutícola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, 32, 25-26. Recuperado a partir de <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Revista/Revista32.pdf>
- Badui, S., Quintanar, E., & Cejudo, H. (2006). *Química de los alimentos - 4 ed.* México: Pearson Educación.

- Bae, W., Lee, B., Hou, G. G., & Lee, S. (2014). Physicochemical characterization of whole-grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. *Journal of Cereal Science*, 60(3), 520-525. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.006>
- Barbosa, J. R., Beltrame, S. C., Bragatto, M. M., Débia, J. G., Bolanho, B. C., Dalva, E., & Danesi, G. (2011). Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. *Revista Tecnológica, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciencia y tecnologia de Alimentos*, 21-28.
- Brennan, J. G. (2006). *Food Processing Handbook*. Traders. Weinheim, Alemanha: Verlag GmbH & Co.
- Burešová, I., Kráčmar, S., Dvořáková, P., & Středa, T. (2014). The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 271-275. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.07.001>
- Carvalho, A. V., Marçal de Vasconcelos, A., Silva, P. A., Assis, G. T., & Ramirez, J. L. (2010). Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. *Ciênc. agrotec., Lavras*, 34(4), 995-1003.
- Casp, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal Volumen 2*. Madrid (España): Editorial Síntesis S.A.
- Castañeda, W. (2005). *Color*. Editorial Universidad de Caldas- Artes y Humanidades.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2002). *Fabricacion de Pan*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Cipriani, J. F. (2012). *El gran libro de la panadería*. Bogotá: Print S.A.S.
- Cornejo, M. a., Acosta, a. a., Rojas, I., Gutiérrez, E., Quiroga, M. a., Gaytán, M., ... Rodríguez, M. E. (2010). Study of the physicochemical and pasting properties of instant corn flour added with calcium and fibers from nopal powder. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 401-409. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.014>
- Da Silva, J. T., Gonçalves, J., De Sousa e Silva, N. A., Ribeiro, M., & De Paula, C. D. (2013). Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinoa. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 15(3), 305-319. Recuperado a partir de <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev153/Art15313.pdf>
- Da Silva, J. T., Ribeiro, M., De Paula, C. D., Leite, D., & Paes, J. B. (2011). Caracterização físico-química e sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 29(1), 83-96.
- Da Silva, M. A., Neves, V. A., & Lourenço, E. J. (2001). Frações protéicas e globulina principal de Graão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cv IAC-Marrocos. *Alim. Nutr.*, 12, 131-149.

- De la Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo : clasificación y propiedades funcionales. *Ciencia y Tecnología*, 13(38), 27-32.
- Duodu, K. G., & Minnaar, A. (2011). *Legume Composite Flours and Baked Goods: Nutritional, Functional, Sensory, and Phytochemical Qualities. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc.
<http://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10018-2>
- Durán, F., & Días, M. F. (2007). *Manual del Ingeniero de Alimentos*. Editorial Grupo Latino.
- Eglantina, D., & Culetu, A. (2015). Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. *Journal of Food Engineering*, 162(1), 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.002>
- Elías, L. G. (1999). Concepto y Tecnologías para la Elaboracion y Uso de Harinas Compuestas. *INCAP. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá*, (502).
- Elizondo, J. A., & Campos, C. M. (2014). Características nutricionales de la cáscara de piña ensilada con cantidades crecientes de urea y heno. *Nutrición Animal Tropical*, 8(2), 51-71.
- Fageer, A. S. M., & El Tinay, a. H. (2004). Effect of genotype, malt pretreatment and cooking on in vitro protein digestibility and protein fractions of corn. *Food Chemistry*, 84(4), 613-619. [http://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00286-3](http://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00286-3)
- FAO. (1995). El sorgo y el mijo en la nutrición humana. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion*. Roma (Italia).
- FENALCE. (2012). Expectativas de siembra para maíz y soya en 2022. Recuperado a partir de http://www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down_load/PMaizySoya2022.pdf
- FENALCE. (2014). *Situacion actual y perspectivas de los cultivos de trigo y cebada*.
- FENALCE. (2015a). Garbanzo. Recuperado a partir de <http://www.fenalce.org/nueva/pg.php?pa=82>
- FENALCE. (2015b). Maíz. Recuperado a partir de [http://www.fenalce.org/nueva/amplia_cont_idioma.php?id=138178b26823fe21d5ce72c0b1767f36&hl=en&tab=nw&lightbox\[iframe\]=true&lightbox\[width\]=70p&lightbox\[height\]=80p](http://www.fenalce.org/nueva/amplia_cont_idioma.php?id=138178b26823fe21d5ce72c0b1767f36&hl=en&tab=nw&lightbox[iframe]=true&lightbox[width]=70p&lightbox[height]=80p)
- Fennema, O. R., Damodaran, S., Parkin, K., & Sanz, B. (2010). *Fennema química de los alimentos - 3 ed*. España: Editorial ACRIBIA S.A.
- Ferré, J., & Rius, X. (2002). *Introducción al diseño estadístico de experimentos*. Barcelona: Universitat Rovira i Virgili.

- Gálvez, A. V., Aravena, E. L., & Mondaca, R. L. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(4), 821-827. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400017>
- García, F., & Carbonero, P. (1983). Control genético de las proteínas del trigo. *Prensa Científica S.A.*, 1(81), 96-104.
- García, M. E. (2006). Alimentos Libres De Gluten : Un Problema Aún Sin Resolver. *Redalyc (Red de revistas científicas de america latina y el caribe, España y Portugal)*, 9, 123-130.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.024>
- Gómez, R., Pérez, A., & González, A. (2013). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2013*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo. http://doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es
- González, U. A. (2009). *El maíz y los productos de su industrialización*. Mexico D.F.: Editorial Trillas.
- IA Alimentos. (2015, junio). Pan y galletas se dinamizan en el mercado. *Revista IA Alimentos*, 1.
- Ibañez, F., & Barcina, Y. (2001). *Análisis Sensorial de Alimentos: Métodos y Aplicaciones*. España: Editorial Taylor y Francis.
- Ibarz, A., & Barbosa, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid (España): Ediciones Mundi-Prensa.
- Jeanette, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2010). *Ciencia de los Alimentos*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 91(3), 403-411. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.015>
- Larosa, G., Rossi, E. A., Barbosa, J. C., & Barbieri De Carvalho, R. M. (2006). Aspectos sensoriais, nutricionais e tecnológicos de biscoito doce contendo farinha de 'okara'. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 17(2), 151-157.
- Leite, M., & Caetano, S. D. S. (2010). Propriedades físicas de substitutos do cacau. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(1), 243-253. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500037>
- León, A. E., & Rosell, C. M. (2007). *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. Córdoba: Hugo Báez Editor.

- López, M., WingChing, R., & Rojas, A. (2014). Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 383-392. <http://doi.org/10.15517/am.v25i2.15453>
- Madeira, E., Luis, J., Ascheri, R., Wanderlei, C., Carvalho, P. De, Yoshie, C., & Berrios, J. D. J. (2014). LWT - Food Science and Technology Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend, 58, 620-626.
- Madrid, A. (2010). *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. Madrid (España): AMV EDICIONES.
- Manley, D. (1989). *Tecnología de la industria galletera. Galletas, crackers y otros horneados*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Marques, L., Zavareze, E. da R., Radünz, A. L., Guerra Días, Á. R., Gutkoski, L. C., & Cardoso, M. (2009). Propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais de biscoitos com substituição de farinha de trigo por farinha de aveia ou farinha de arroz parboilizado. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 20(1), 15-24.
- Martínez, A. G. (2010). *Preelaboración y conservación de alimentos*. Ediciones AKAL. Recuperado a partir de <https://books.google.com/books?id=APYNh0GPrY4C&pgis=1>
- Matz, S. A. (1999). *Bakery Technology and Engineering* (3 Edición). Westport (Connecticut): Pan-Tech International.
- Méndez-Montealvo, G., Solorza-Feria, J., Velázquez del Valle, M., Gómez-Montiel, N., Paredes-López, O., & Bello-Pérez, L. a. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(3), 267-274.
- Miao, M., Zhang, T., & Jiang, B. (2009). Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. *Food Chemistry*, 113(4), 1025-1032. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.056>
- Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 196-202. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.006>
- Moreira, T., Pirozi, R., Borges, S., & Duke, U. (2007). Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 18(2), 141-150.
- Moya, M., Sibaja, M., Durán, M., & Vega, J. (1995). Obtención potencial de polímeros biodegradables. Estudio de la disolución de la cascara de piña en PEG. *UNICIENCIA*, 12(1), 39-43.
- Nielsen, S. (2008). *Análisis de los Alimentos*. España: Editorial ACRIBIA S.A.

- Ortega, K., Hernández, D., & Acosta, H. (2013). Desarrollo Y Caracterización De Un Producto Libre De Gluten a Base De Harinas De Maíz, Arroz Y Quinoa. *Alimentos Hoy*, 40, 47-60. Recuperado a partir de <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/231>
- Quesada, K., Aguilar, P., Ballesteros, R., & Baudrit, J. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6(2), 157-179.
- Ramírez, A., & De Delahaye, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4), 293-298.
- Ramírez, J. S. (2006). Introducción a la Reología de los Alimentos. *ReCiTela*, 6(1), 46.
- Rivas, L. A. A., Merino, J. C., Herrera, P. P., & Moreno, Y. S. (2003). Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista fitotecnica mexicana*, 26(2), 115-121. Recuperado a partir de https://www.mendeley.com/research/relaci%C3%B3n-amilosa-amilopectina-en-el-almid%C3%B3n-harina-nixtamalizada-ma%C3%ADz-y-su-efecto-en-la-calidad-la-t/?utm_source=desktop&utm_medium=1.13.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B6c90aba1-1145-4677-bc73-78b8a1146803%7D
- Roberts, M., & Ingram, N. (2001). *Biology* (2.^a ed.). Nelson Thornes Ltd.
- Rodrigues, J., Beltrame, S. C., Maciero, M., Grotto, P., Cervejeira, B., & Godoy, E. D. (2011). Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. *Revista Tecnológica, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciencia y tecnologia de Alimentos*, 21-28.
- Rodríguez, E., Fernández, A., Alonso, L., & Ospina, B. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*, 19, 17-30.
- Rodríguez, E., Fernández, A., & Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación*, 25(1), 72-78. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64325110>
- Rodríguez, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influence of the Partial Substitution of Wheat Flour for Quinoa and Potato Flour on the Thermomechanical and Breadmaking Properties. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.*, 15, 199-207.
- Rosenthal, A. (2001). *Textura de los Alimentos: Medida y percepción*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Roudot, A.-C. (2004). *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.

- Saez, R., & Peña, A. (2013). *Enfermedad Celíaca y Sensibilidad al Gluten no Celíaca*. Editorial OmniaScience.
- Sahin, S., & Güllüm, S. (2009). *Propiedades Físicas de los Alimentos*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Salas, J., García, P., Alonso, M., & Sánchez, J. M. (2005). *La Alimentación y la nutrición a través de la historia*. Barcelona: Glosa. Recuperado a partir de https://www.mendeley.com/research/la-alimentaci%C3%B3n-y-la-nutrici%C3%B3n-trav%C3%A9s-la-historia-2/?utm_source=desktop&utm_medium=1.13.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bfb240ea6-e2ea-4262-b503-17b41f6cced2%7D
- Sanjeewa, W. G. T., Wanasundara, J. P. D., Pietrasik, Z., & Shand, P. J. (2010). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L .) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, 43(2), 617-626. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.024>
- Schmiele, M., Hackbart Da Silva, L., Pinto Da Costa, P. F., Da Silva Rodrigues, R., & Chang, Y. K. (2011). Influência da adição de farinha integral de aveia, flocos de aveia e isolado proteico de soja na qualidade tecnológica de bolo inglês. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 29(1), 71-82.
- Shukla, R., & Cheryan, M. (2001). Zein : the industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products*, 13(1), 171-192.
- Souza, J.-A. (2010). *Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinha de arroz submetidas a torração em micro-ondas*. Goiânia.
- Surco, J. C., & Alvarado, J. A. (2010). HARINAS COMPUESTAS DE SORGO-TRIGO PARA PANIFICACIÓN. *Revista Bolivariana de química*, 27(1), 19-28.
- Umaña, J., Álvarez, C., Loperay, S. M., & Gallardo, C. (2013). Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten. *Revista alimentos hoy*, 22(29), 36-46.

12 ANEXOS


Universidad del Valle

TESIS: SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS COMPUESTAS DE MAÍZ Y GARBANZO EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

PRODUCTOS: Panes de molde (o galletas) elaborados con harina compuesta de trigo, garbanzo y maíz.

ESTUDIANTES: Doreen Hoyos y Anneeth Palacios – Ingeniería de alimentos. Décimo semestre

Nombre: _____ Sexo: _____ Fecha: _____

INSTRUCCIONES

1. Tome una muestra identificada con el código en el orden de presentación establecido.
2. Deguste asegurando percibir la totalidad de las características del producto.
3. Indique su nivel de agrado asignándole la puntuación que mejor describe su percepción para cada uno de los atributos del producto, según la tabla que se le presenta a continuación.

Nivel de agrado	Escala de puntuación
Me disgusta mucho	1
Me disgusta moderadamente	2
Me disgusta levemente	3
No me gusta ni me disgusta	4
Me gusta levemente	5
Me gusta moderadamente	6
Me gusta mucho	7

4. Finalmente, enjuague la boca con el agua suministrada eliminando cualquier sabor residual y continúe con la siguiente muestra.

NOTA: El tiempo entre cada degustación no es limitado. Tome todo el tiempo necesario para realizar una adecuada evaluación

Atributo	Muestra			
	245	874	624	910
Color				
Sabor				
Textura				
Aroma				
Aceptabilidad General				

Comentarios:

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Figura A 1. Formato de respuesta para la prueba hedónica de aceptación sensorial de los productos. El código 245 corresponde a la formulación #1, el 874 a la #3, el 624 a la #4 y el 910 a la #2.

Tabla A1. Formulaciones de las harinas compuestas para elaboración de galletas y panes

Harina compuesta	Formulación				Harina compuesta	Formulación			
	Har. Trigo	Har. Garbanzo	Har. Maíz	Fibra Piña		Har. Trigo	Har. Garbanzo	Har. Maíz	Fibra Piña
Galleta #1	20%	35%	35%	10%	Pan #1	67%	15%	15%	3%
Galleta #2	10%	35%	45%	10%	Pan #2	62%	15%	20%	3%
Galleta #3	10%	45%	35%	10%	Pan #3	62%	20%	15%	3%
Galleta #4	0%	45%	45%	10%	Pan #4	57%	20%	20%	3%

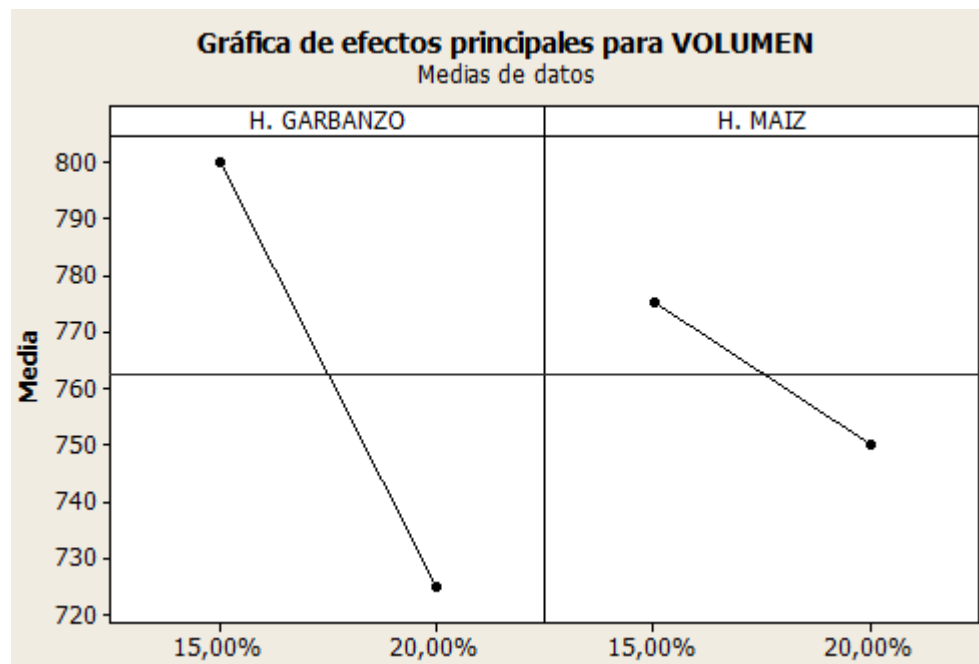


Figura A2. Efectos de los principales factores sobre el volumen de los panes.

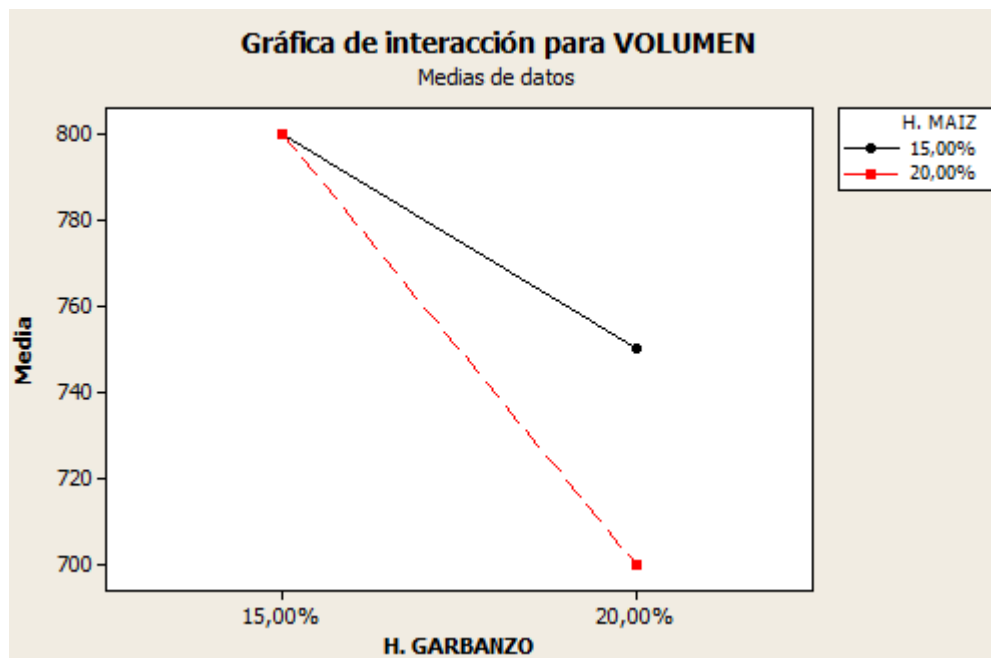


Figura A3. Interacción de los factores sobre el volumen de los panes.

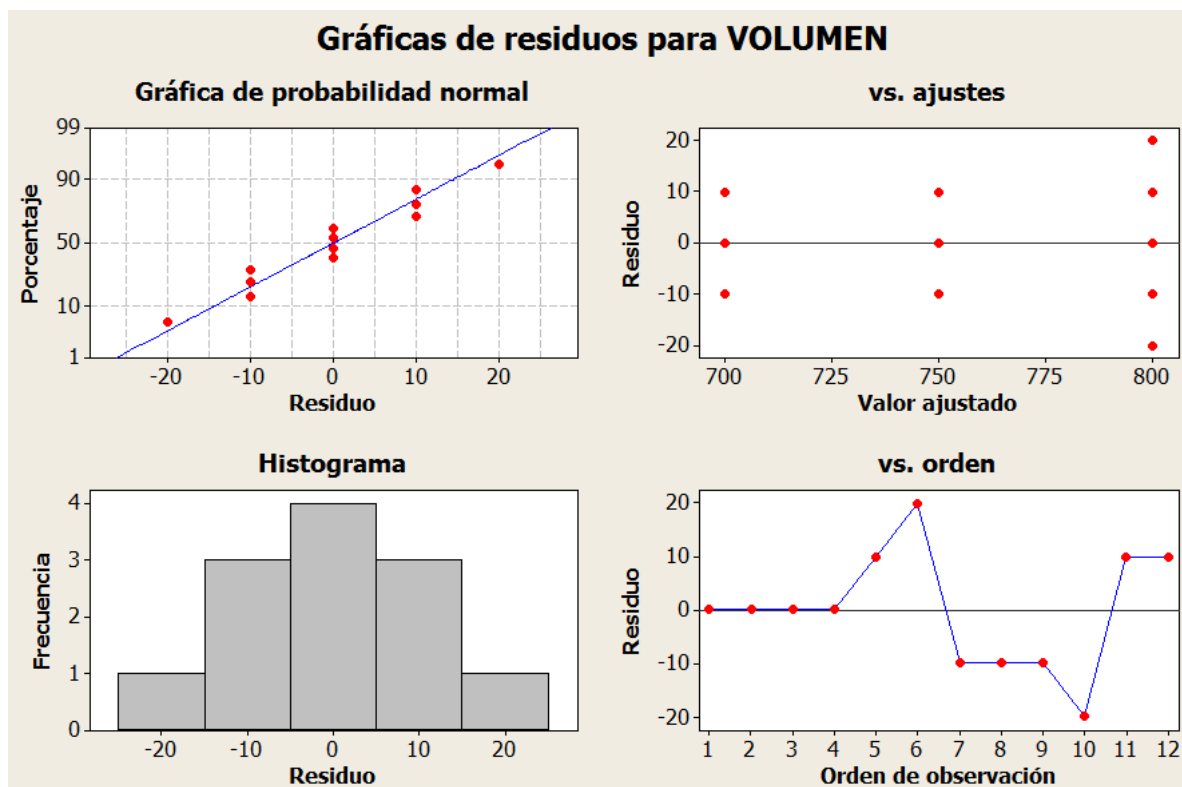


Figura A4. Validación de los supuestos por análisis gráfico para el volumen del pan

Tabla A2. Análisis de varianza (ANOVA) para el volumen de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	16875,0	16875,0	16875,0	96,43	0,000
H. MAIZ	1	1875,0	1875,0	1875,0	10,71	0,011
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	1875,0	1875,0	1875,0	10,71	0,011
Error	8	1400,0	1400,0	175,0		
Total	11	22025,0				

Tabla A3 Prueba de comparación Tukey para el efecto de la interacción de los factores sobre el volumen de los panes.

H. GARBANZO	H. MAIZ	N	Media	Agrupación
0,15	0,20	3	800,0	A
0,15	0,15	3	800,0	A
0,20	0,15	3	750,0	B
0,20	0,20	3	700,0	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

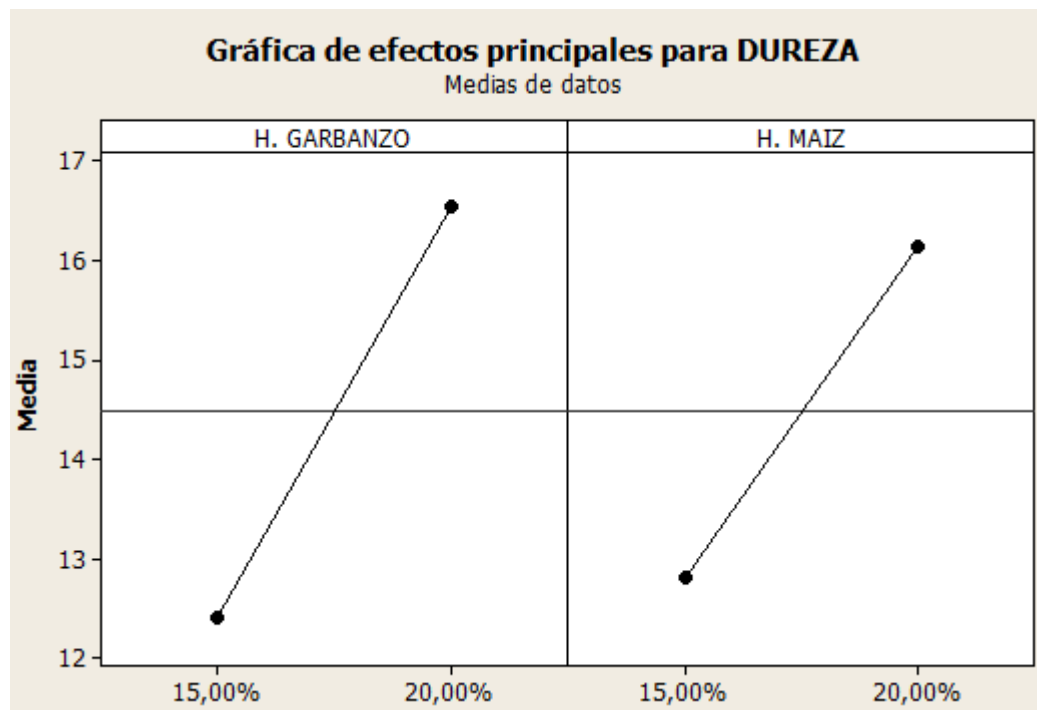


Figura A5. Efectos de los principales factores sobre la dureza de los panes.

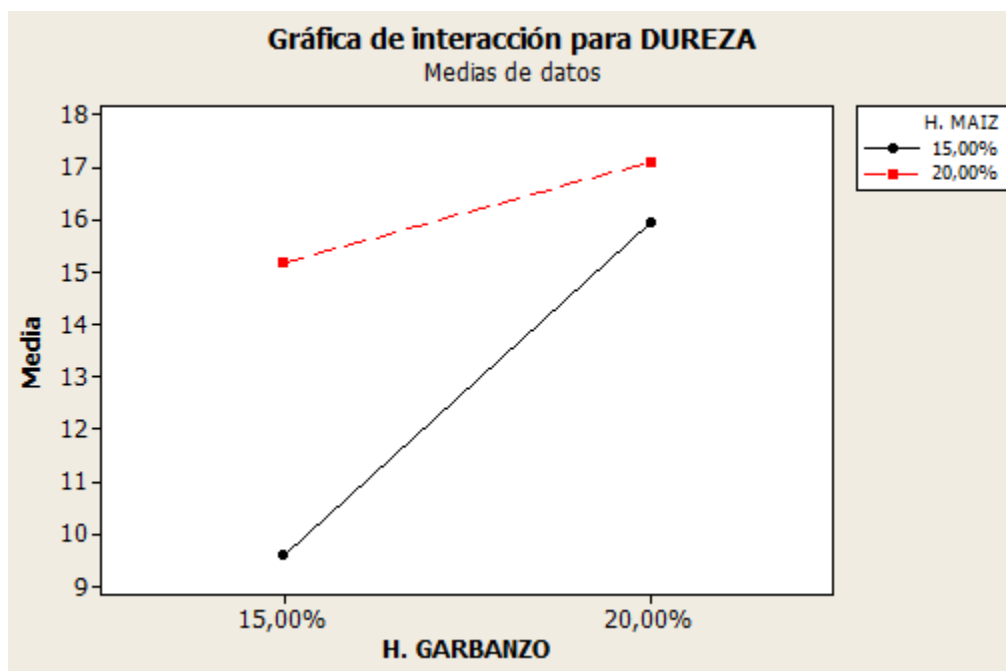


Figura A6. Interacción de los factores sobre la dureza de los panes.

Tabla A4. Análisis de varianza (ANOVA) para la dureza de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	51,460	51,460	51,460	151,460	0,000
H. MAIZ	1	33,668	33,668	33,668	99,07	0,000
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	14,741	14,741	14,741	43,38	0,000
Error	8	2,719	2,719	0,340		
Total	11	102,587				

Tabla A5. Prueba de comparación Tukey para la interacción de los factores sobre la dureza de los panes.

H. GARBANZO	H. MAIZ	N	Media	Agrupación
0,20	0,20	3	17,117	A
0,20	0,15	3	15,983	A B
0,15	0,20	3	15,192	B
0,15	0,15	3	9,625	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

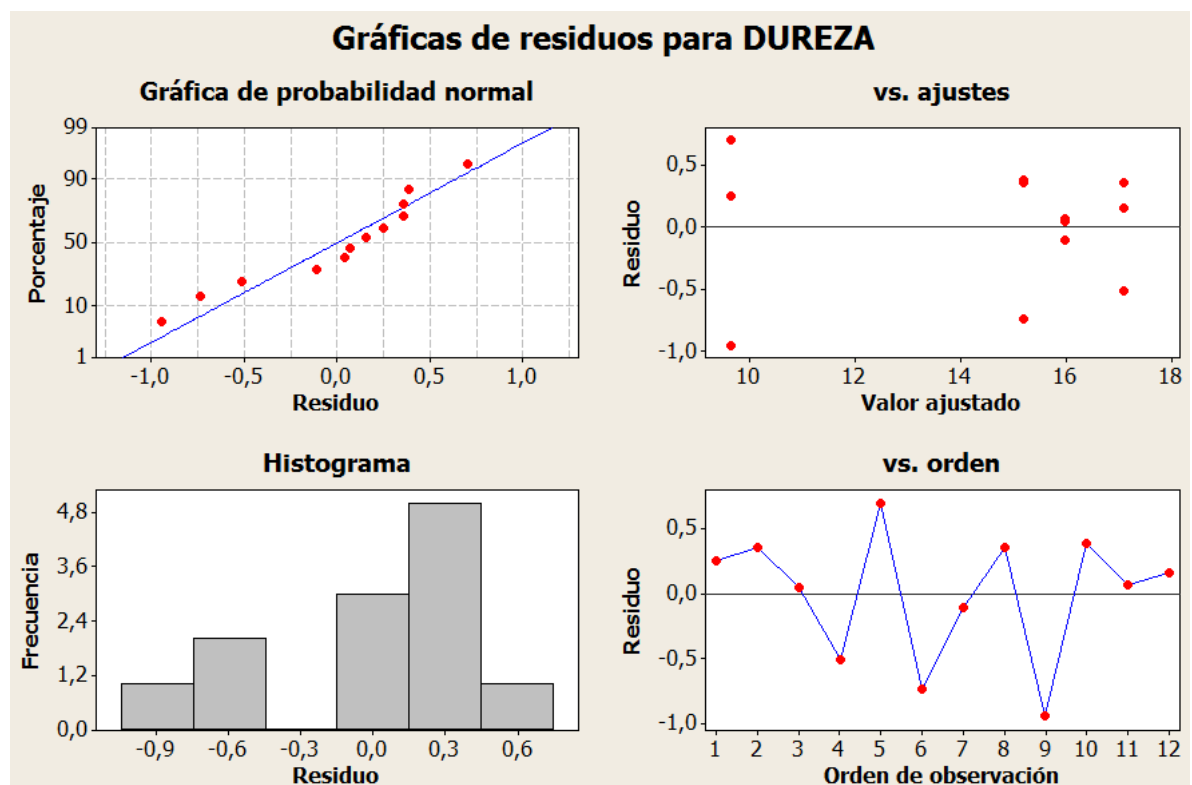


Figura A7. Validación de los supuestos por análisis gráfico para la dureza del pan

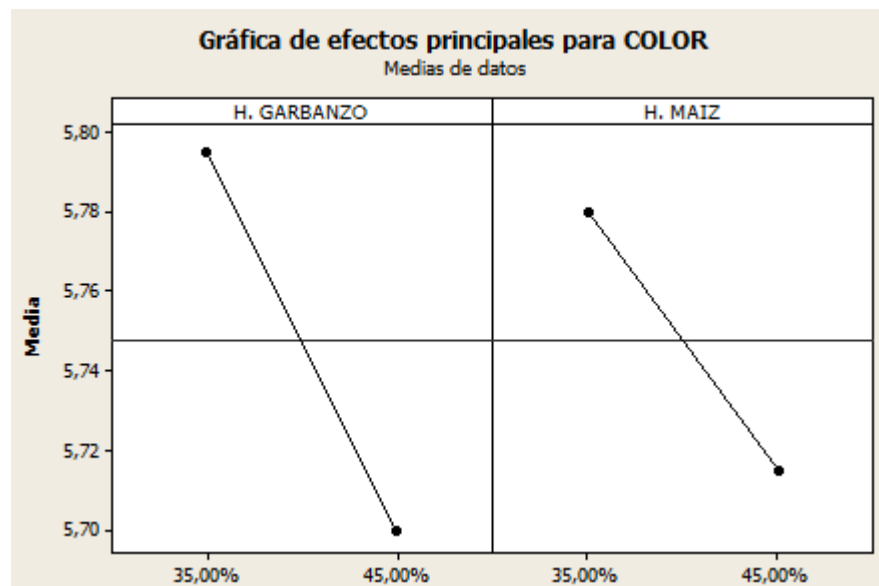


Figura A8. Efectos de los principales factores sobre el color de las galletas.

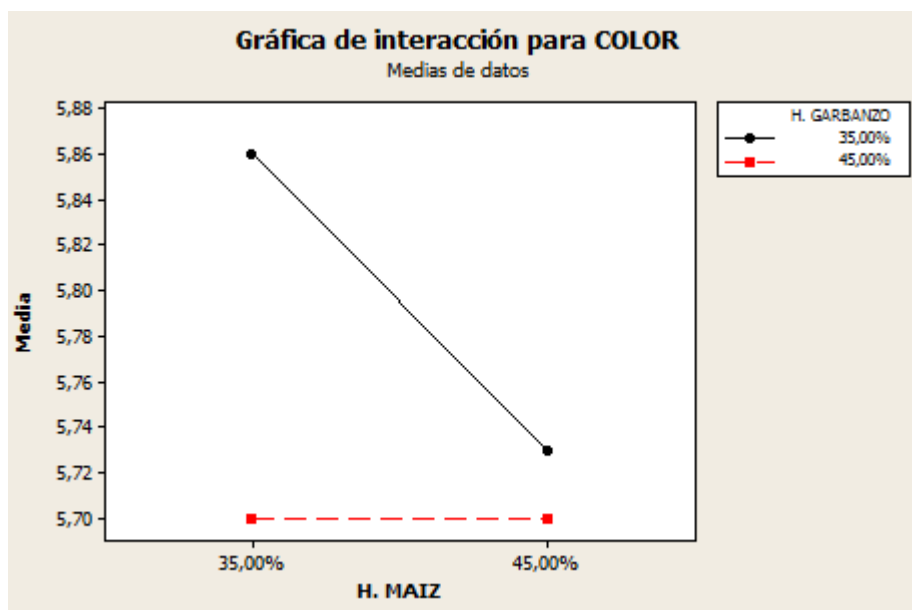


Figura A9. Interacción de los factores sobre el color de las galletas.

Tabla A6. Análisis de varianza (ANOVA) para el color de las galletas.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	0,9025	0,9025	0,9025	1,10	0,296
H. MAIZ	1	0,4225	0,4225	0,4225	0,51	0,474
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	0,4225	0,4225	0,4225	0,51	0,474
Error	396	325,7500	325,7500	0,8226		
Total	399	327,4975				

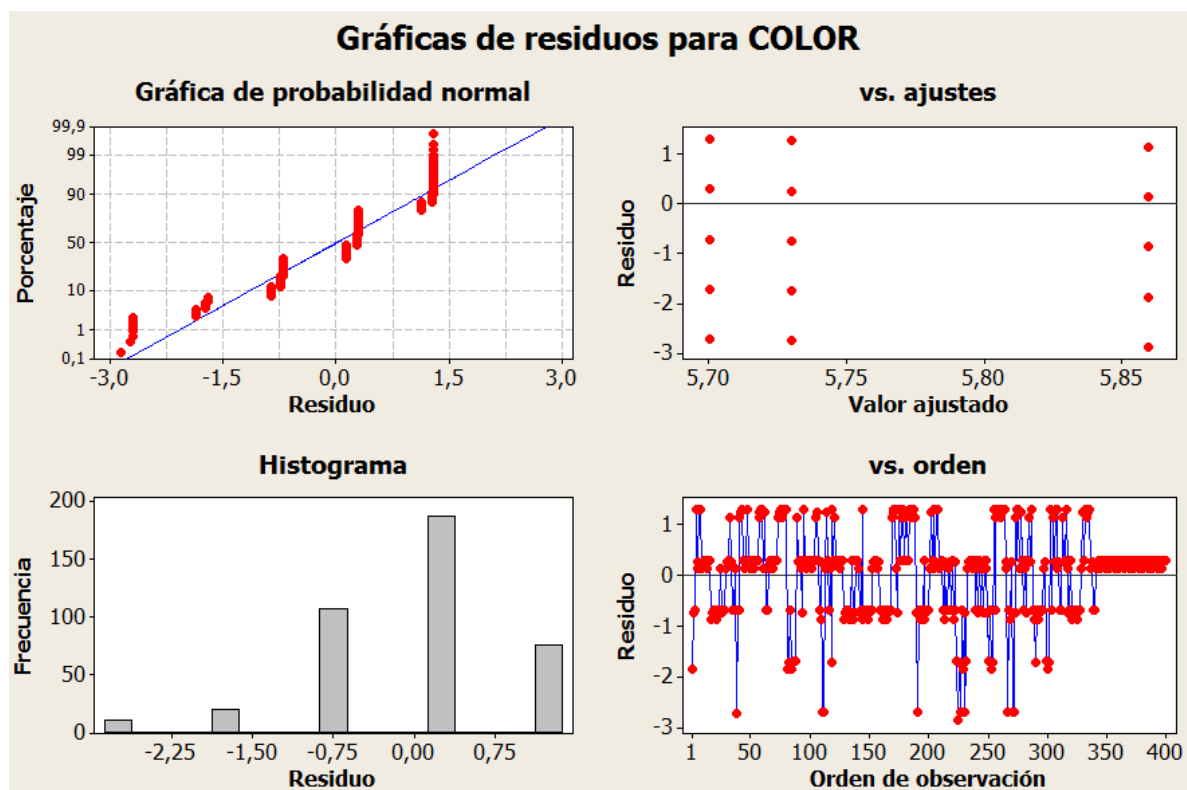


Figura A10. Validación de los supuestos por análisis gráfico para el color de las galletas.

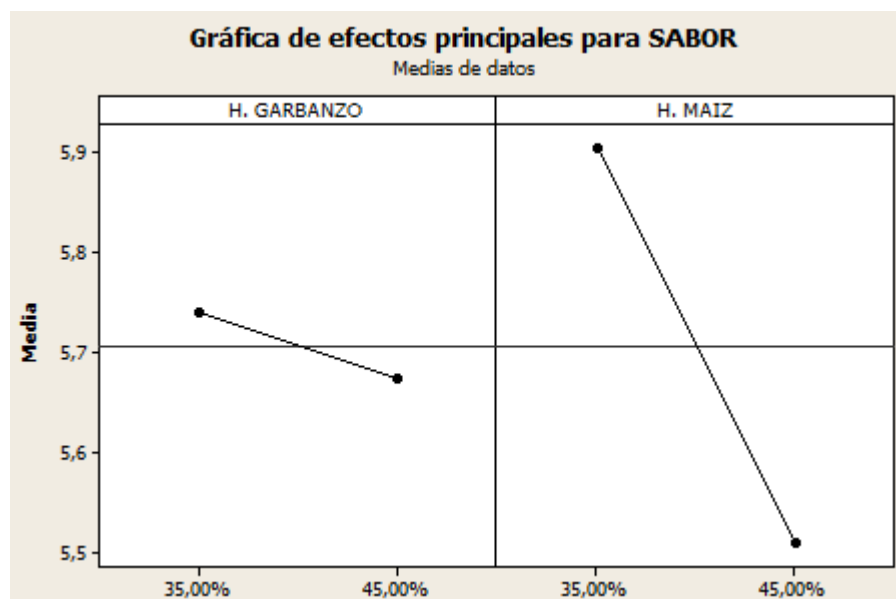


Figura A11. Efectos de los principales factores sobre el sabor de las galletas.

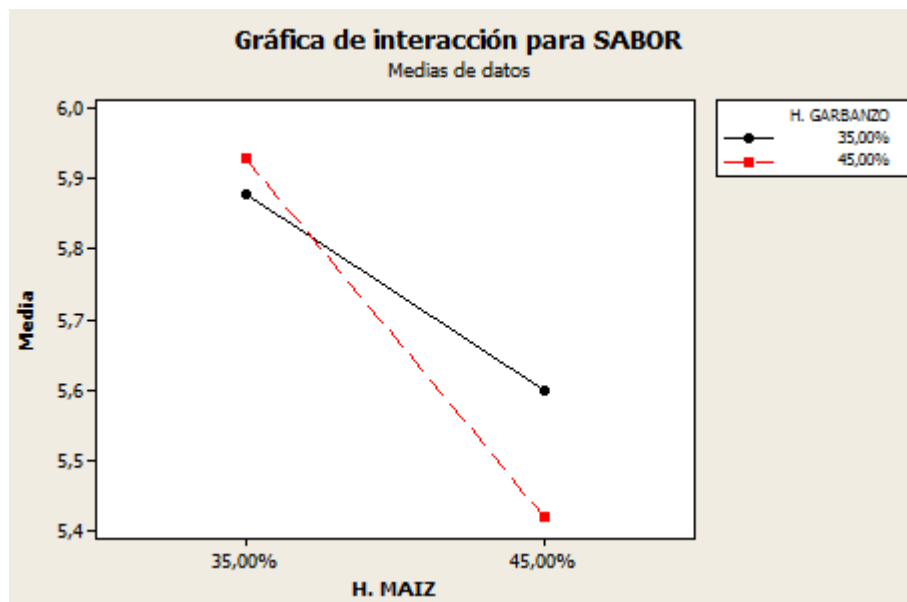


Figura A12. Interacción de los factores sobre el sabor de las galletas.

Tabla A7. Análisis de varianza (ANOVA) para el sabor de las galletas.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	0,423	0,423	0,423	0,05	0,815
H. MAIZ	1	15,602	15,602	15,602	2,02	0,156
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	1,323	1,323	1,323	0,17	0,679
Error	396	3053,430	3053,430			
Total	399	3070,777				

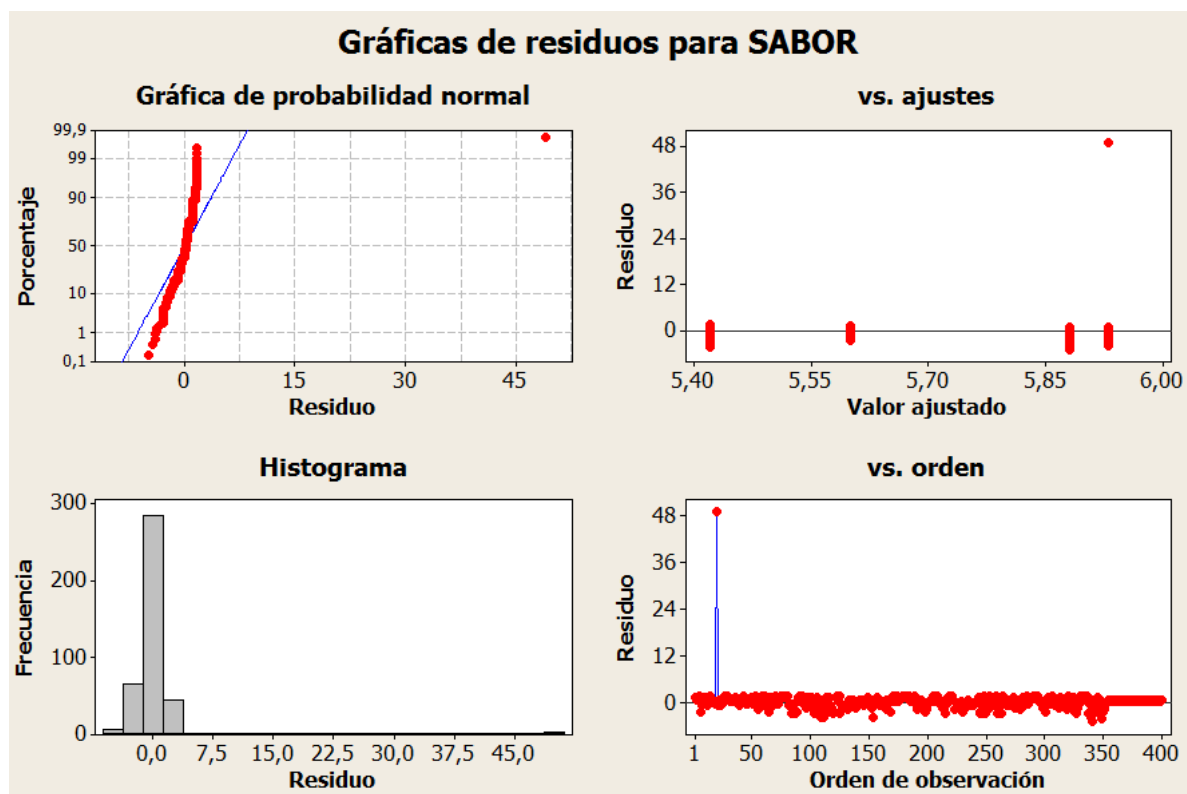


Figura A13. Validación de los supuestos por análisis gráfico para el sabor de las galletas.

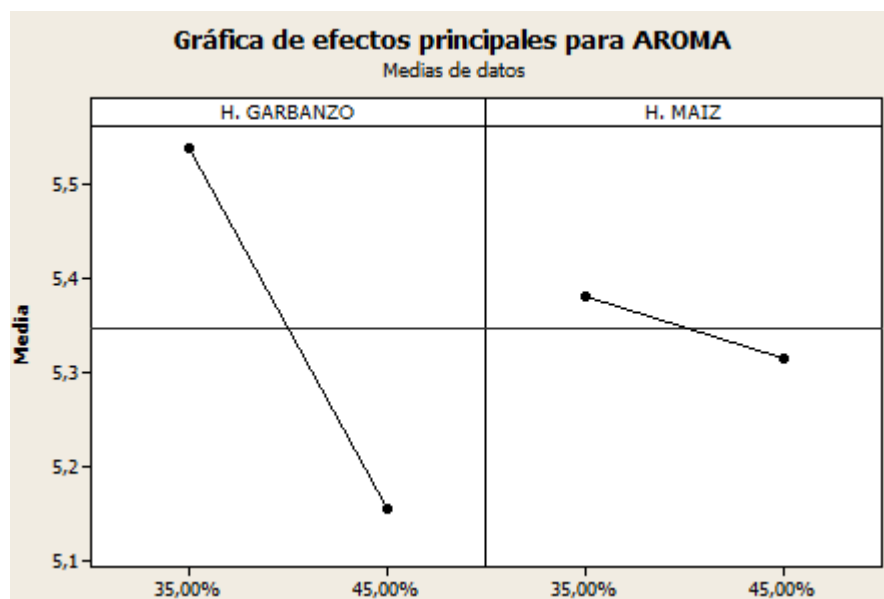


Figura A14. Efectos de los principales factores sobre el aroma de las galletas.

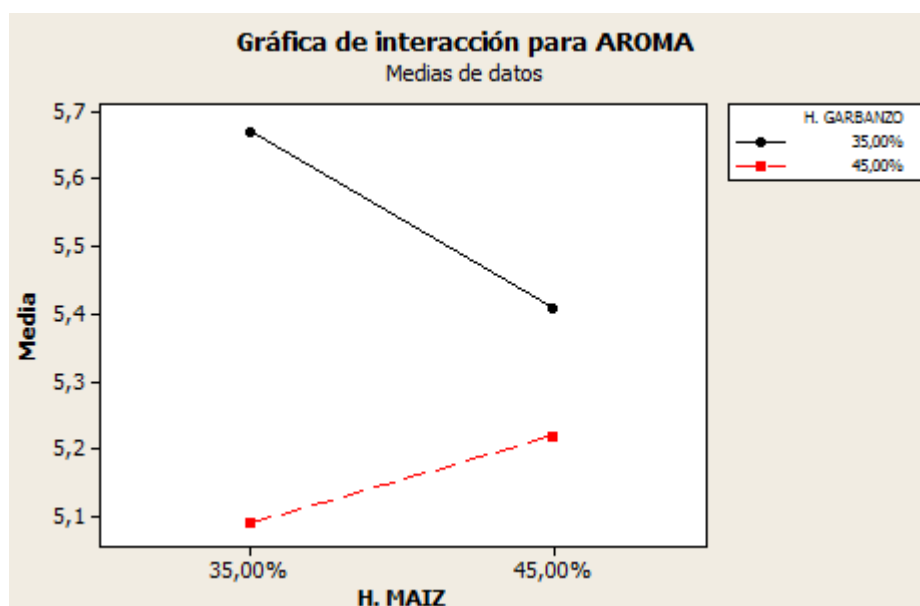


Figura A15. Interacción de los factores sobre el aroma de las galletas.

Tabla A8. Análisis de varianza (ANOVA) para el aroma de las galletas.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	14,823	14,823	14,823	11,38	0,001
H. MAIZ	1	0,422	0,422	0,422	0,32	0,569
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	3,803	3,803	3,803	2,92	0,088
Error	396	515,650	515,650	1,302		
Total	399	534,697				

Tabla A9. Prueba de comparación Tukey para el efecto del factor harina de garbanzo sobre el aroma de las galletas.

H. GARBANZO	N	Media	Agrupación
0,35	200	5,540	A
0,45	200	5,155	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

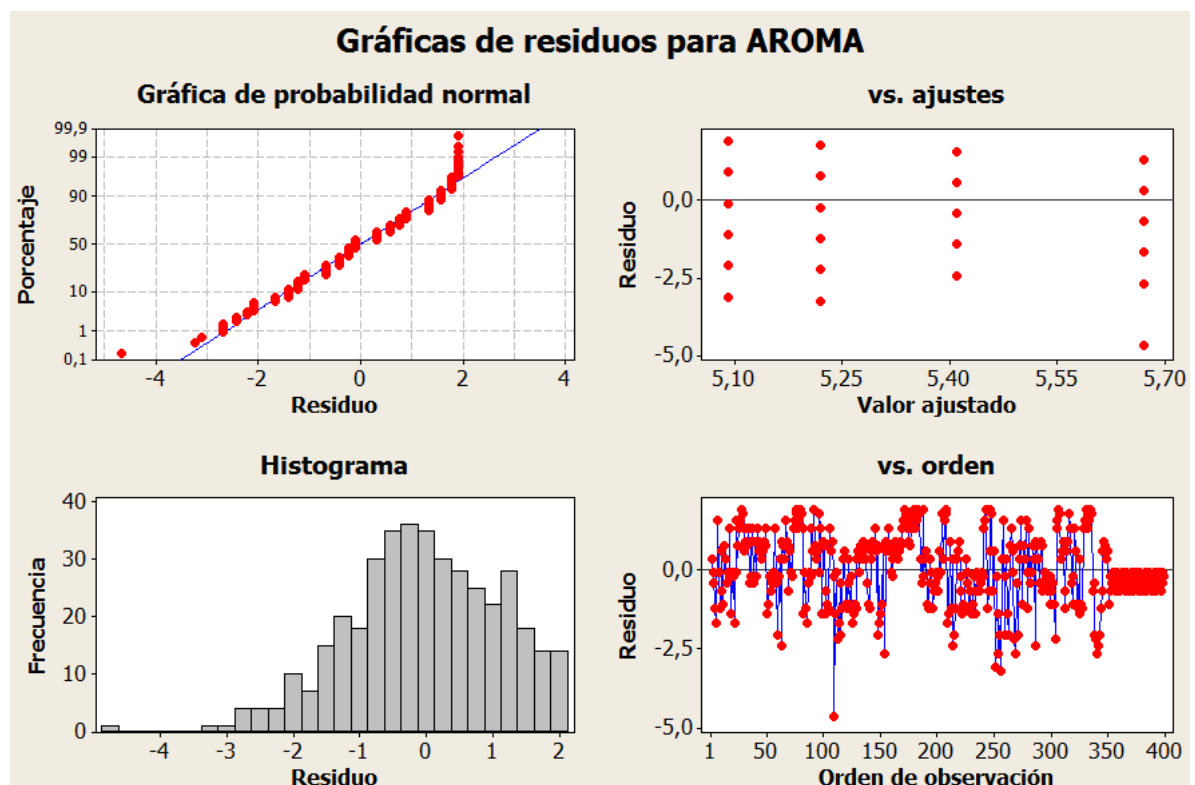


Figura A16. Interacción de los factores sobre el sabor de las galletas.

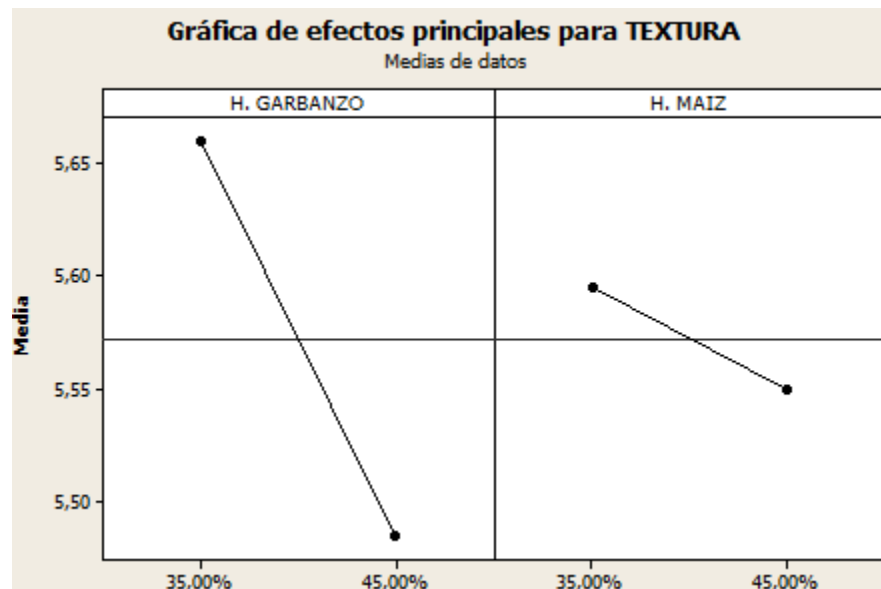


Figura A17. Efectos de los principales factores sobre la textura de las galletas.

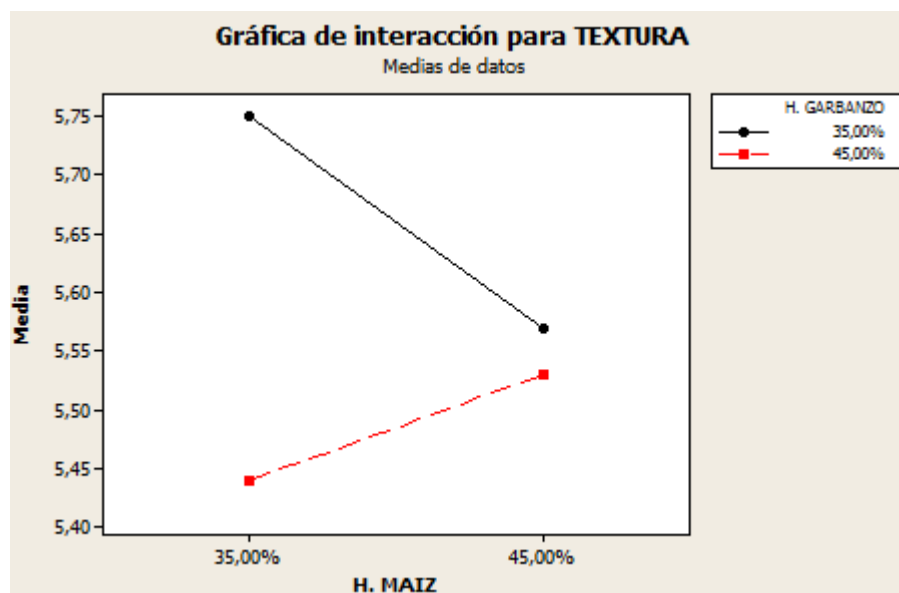


Figura A18. Interacción de los factores sobre la textura de las galletas.

Tabla A10. Análisis de varianza (ANOVA) para la textura de las galletas.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	3,063	3,063	3,063	1,79	0,181
H. MAIZ	1	0,202	0,202	0,202	0,12	0,731
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	1,822	1,822	1,822	1,07	0,302
Error	396	676,810	676,810	1,709		
Total	399	681,897				

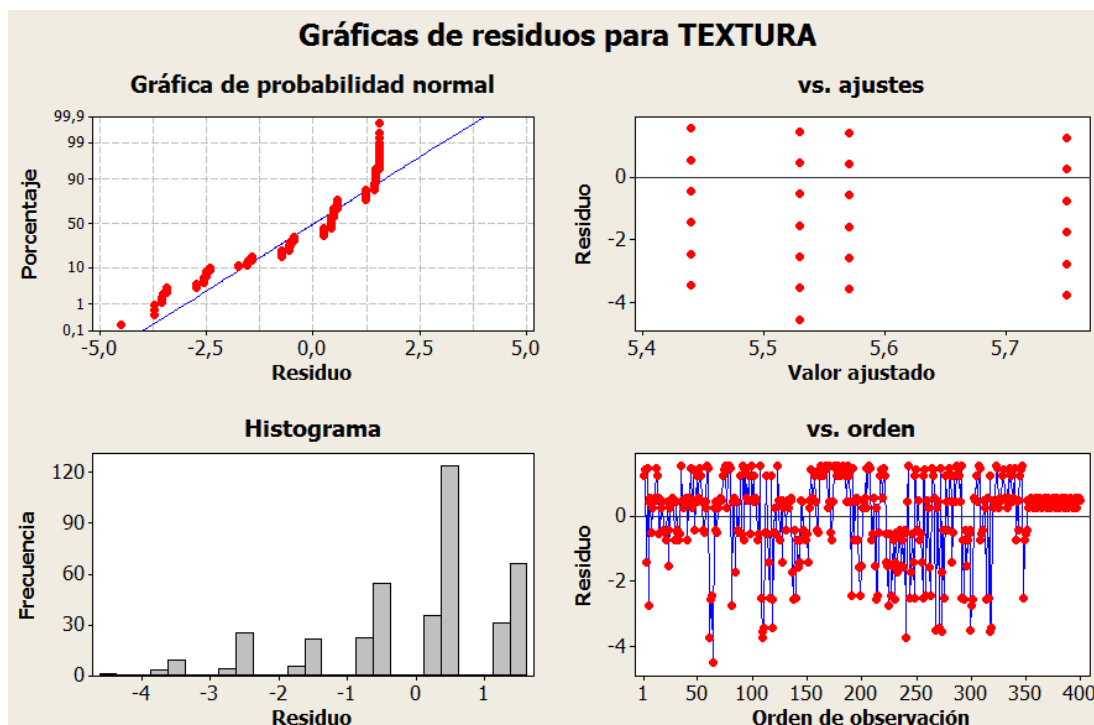


Figura A19. Validación de los supuestos por análisis gráfico para la textura de las galletas.

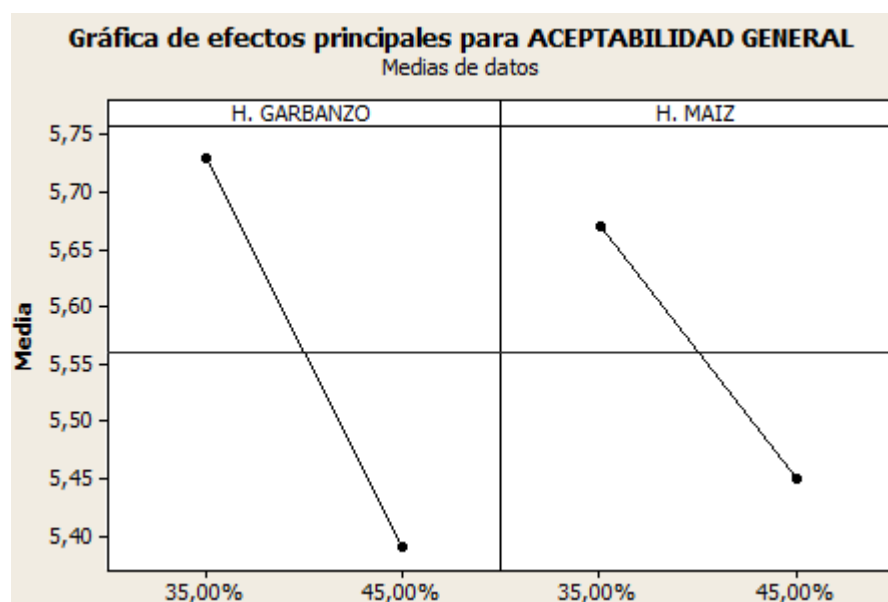


Figura A20. Efectos de los principales factores sobre la aceptabilidad general de las galletas.

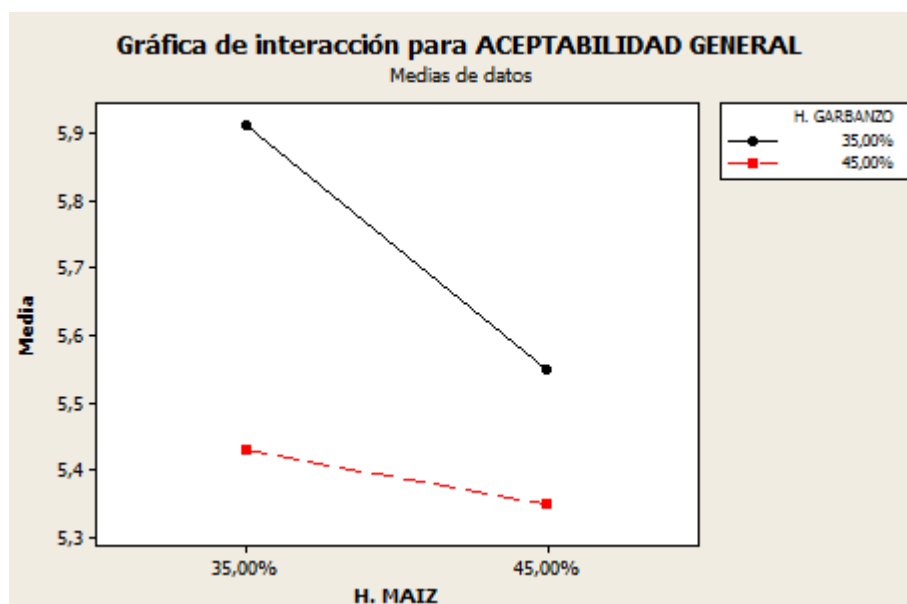


Figura A21. Interacción de los factores sobre la aceptabilidad general de las galletas.

Tabla A11. Análisis de varianza (ANOVA) para la aceptabilidad general de las galletas.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	11,560	11,560	11,560	10,03	0,002
H. MAIZ	1	4,840	4,840	4,840	4,20	0,041
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	1,960	1,960	1,960	1,70	0,193
Error	396	456,200	456,200	1,152		
Total	399	474,560				

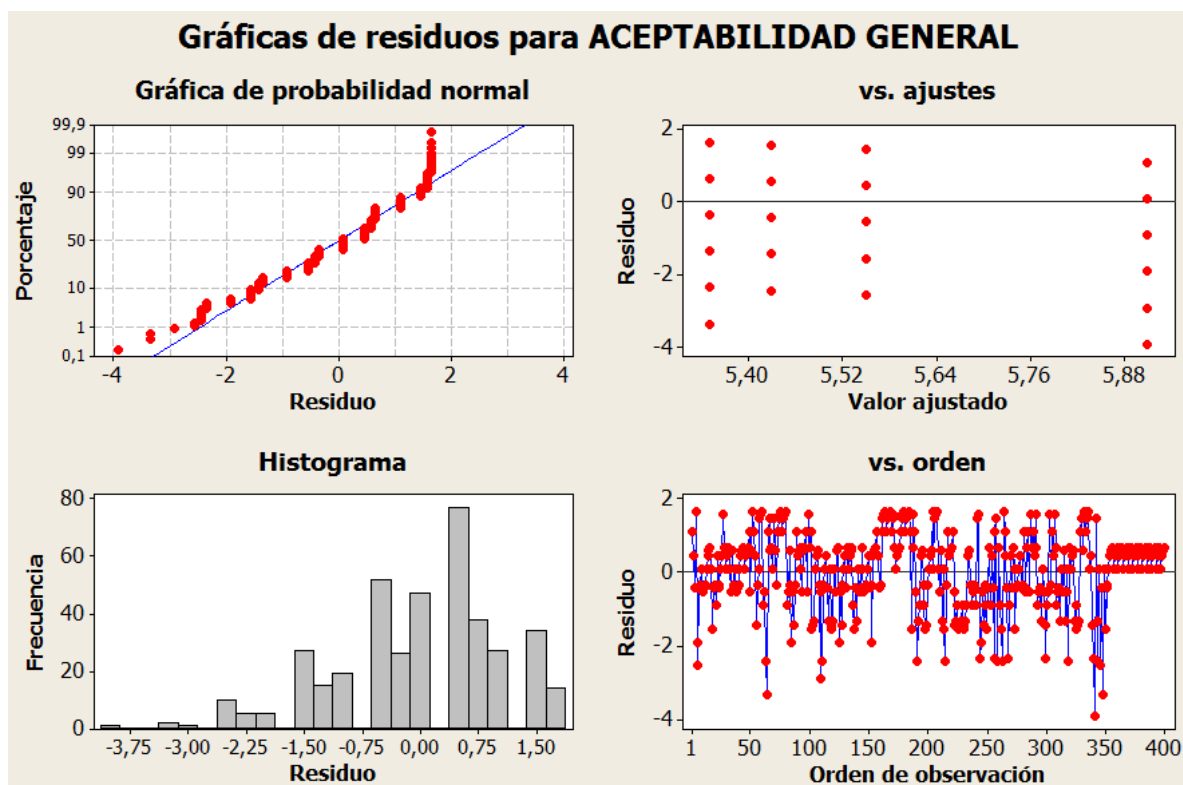


Figura A22. Interacción de los factores sobre la aceptabilidad general de las galletas.

Tabla A12. Prueba de comparación Tukey para el efecto del factor harina de garbanzo sobre la aceptabilidad general de las galletas.

H. GARBANZO	N	Media	Agrupación
0,35	200	5,730	A
0,45	200	5,390	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

Tabla A13. Prueba de comparación Tukey para el efecto del factor harina de maíz sobre la aceptabilidad general de las galletas.

H. MAIZ	N	Media	Agrupación
0,35	200	5,670	A
0,45	200	5,450	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

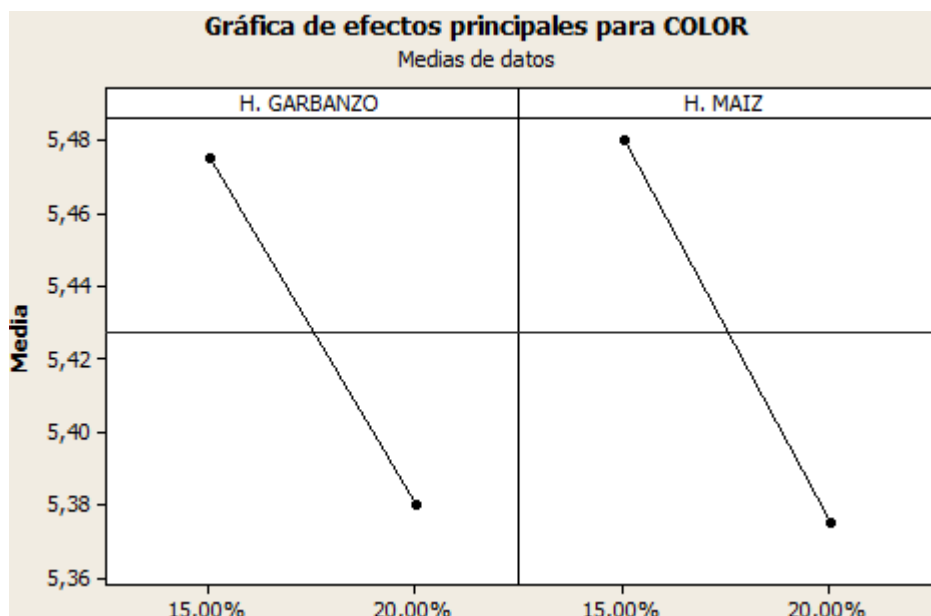


Figura A23. Efectos de los principales factores sobre el color de los panes.

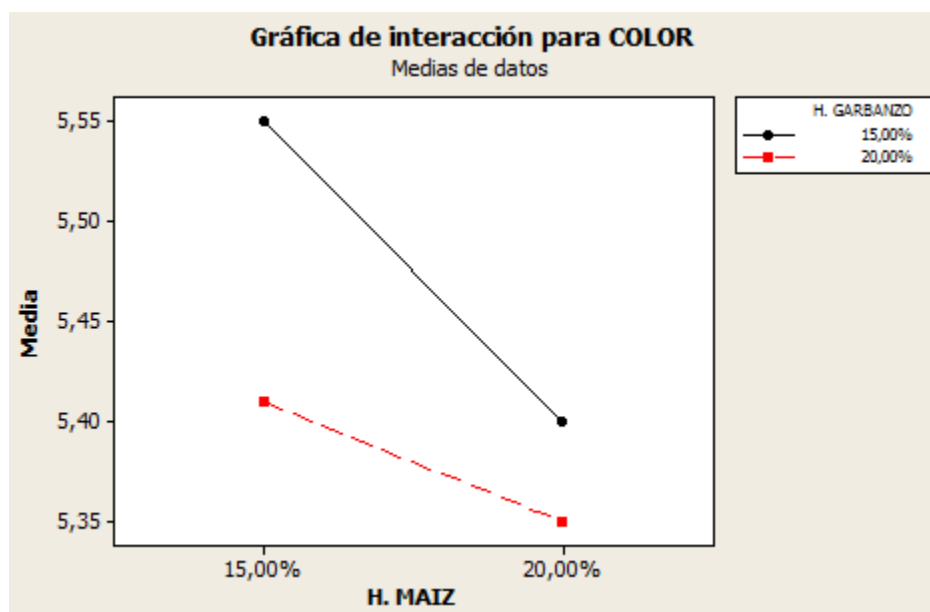


Figura A24. Interacción de los factores sobre el color de los panes.

Tabla A14. Análisis de varianza (ANOVA) para el color de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	0,903	0,903	0,903	0,80	0,372
H. MAIZ	1	1,102	1,102	1,102	0,98	0,324
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	0,202	0,202	0,202	0,18	0,672
Error	396	447,690	447,690	1,131		
Total	399	449,898				

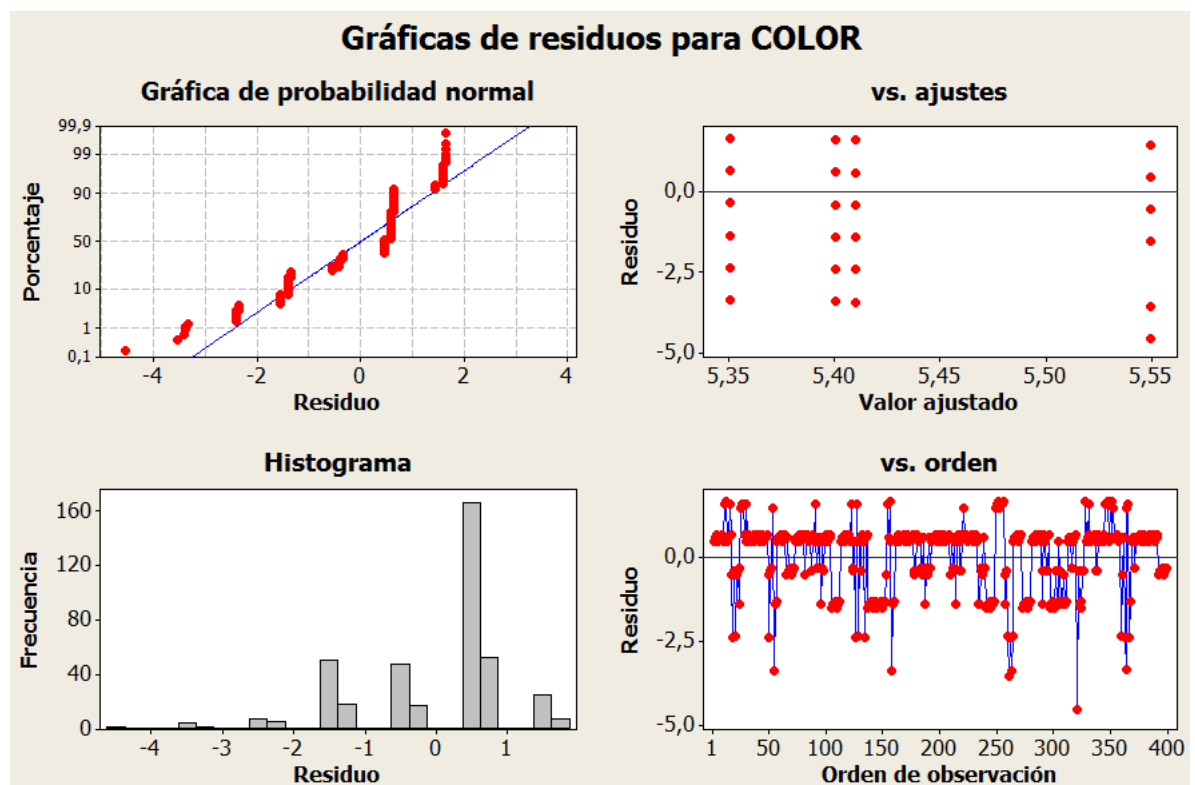


Figura A25. Validación de los supuestos por análisis gráfico para el color del pan.

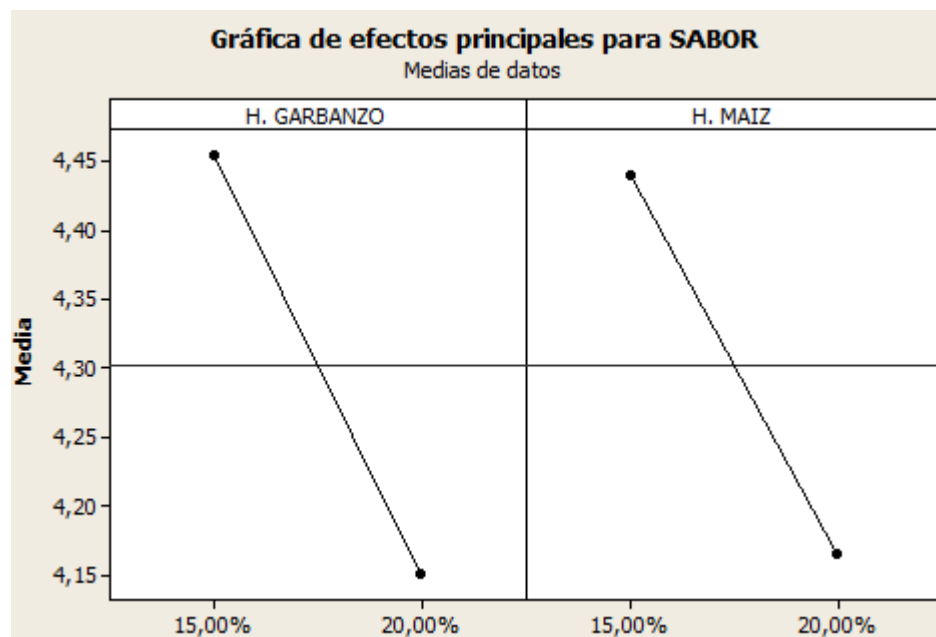


Figura A26. Efectos de los principales factores sobre el sabor de los panes.

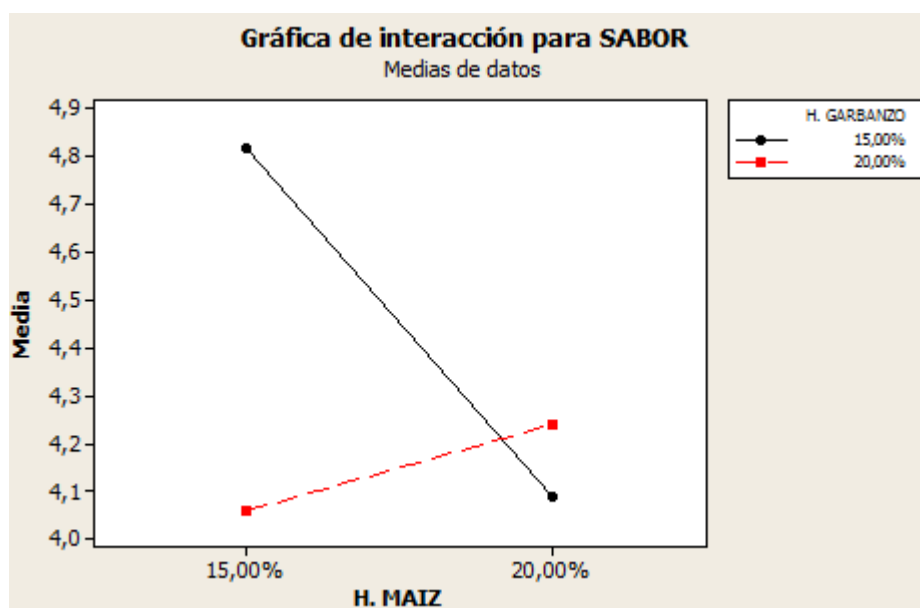


Figura A27. Interacción de los factores sobre el sabor de los panes.

Tabla A15. Análisis de varianza (ANOVA) para el sabor de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	9,303	9,303	9,303	4,27	0,039
H. MAIZ	1	7,563	7,563	7,563	3,47	0,063
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	20,703	20,703	20,703	9,50	0,002
Error	396	862,830	862,830	2,179		
Total	399	900,397				

Tabla A16. Prueba de comparación Tukey para el efecto de la interacción de los factores sobre el sabor de los panes.

H. GARBANZO	H. MAIZ	N	Media	Agrupación
0,15	0,15	100	4,820	A
0,20	0,20	100	4,240	B
0,15	0,20	100	4,090	B
0,20	0,15	100	4,060	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

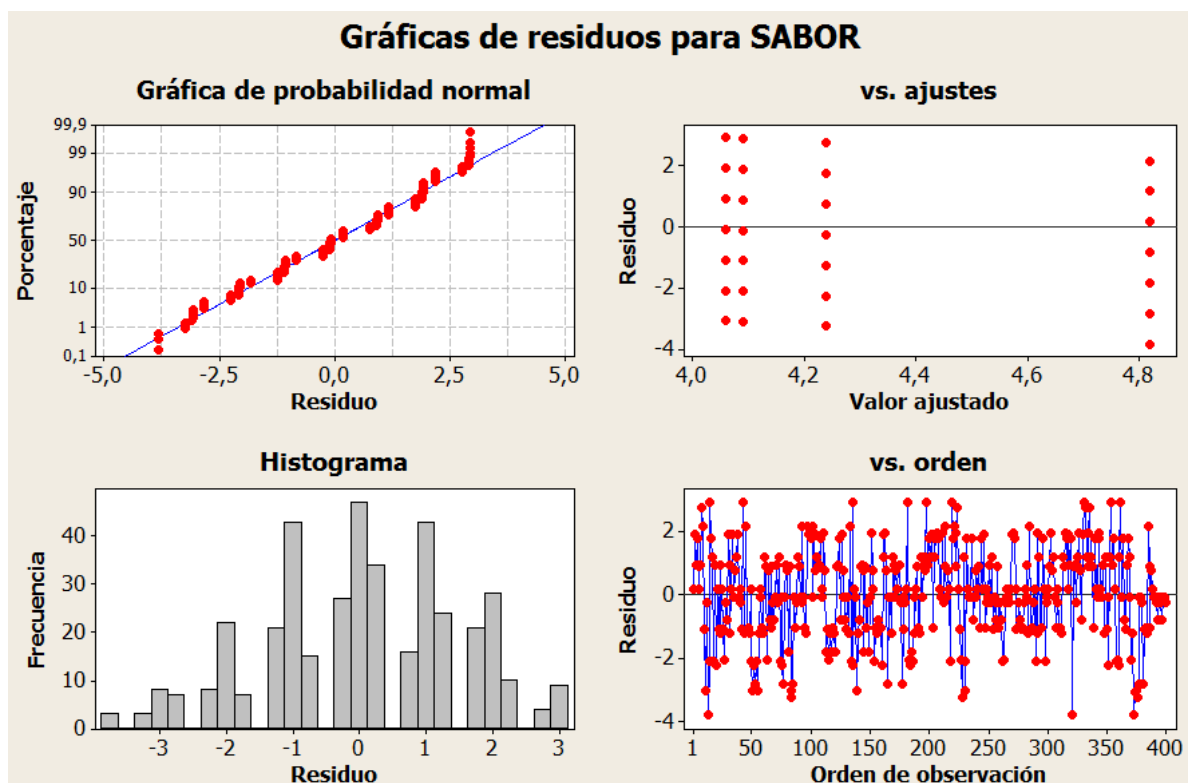


Figura A28. Validación de los supuestos por análisis gráfico para el sabor del pan.

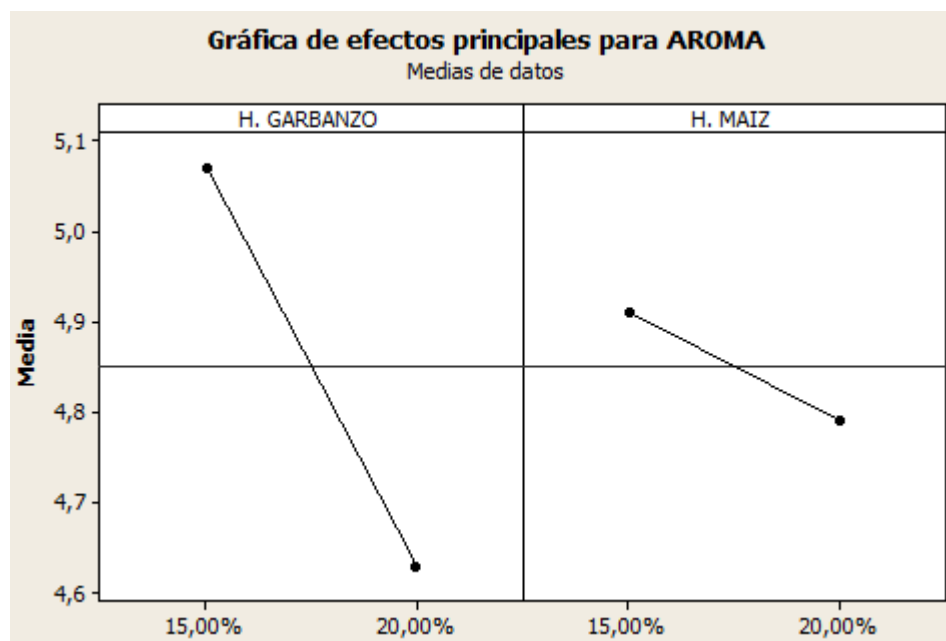


Figura A29. Efectos de los principales factores sobre el aroma de los panes.

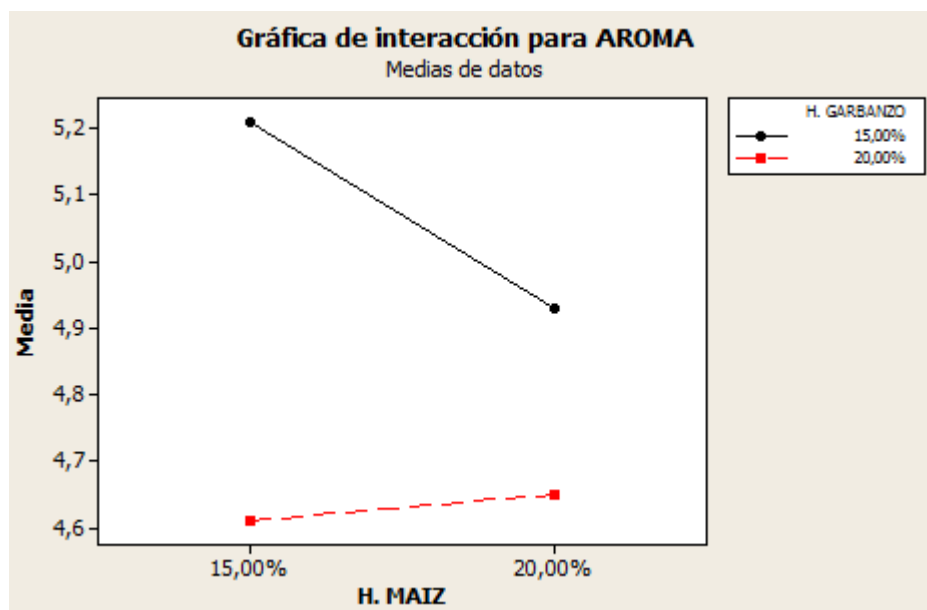


Figura A30. Interacción de los factores sobre el aroma de los panes.

Tabla A17. Análisis de varianza (ANOVA) para el aroma de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	19,360	19,360	19,360	10,62	0,001
H. MAIZ	1	1,440	1,440	1,440	0,79	0,375
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	2,560	2,560	2,560	1,40	0,237
Error	396	721,640	721,640	1,822		
Total	399	745,000				

Tabla A18. Prueba de comparación Tukey para el efecto del factor harina de garbanzo sobre el aroma de los panes.

H. GARBANZO	N	Media	Agrupación
0,15	200	5,070	A
0,20	200	4,630	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

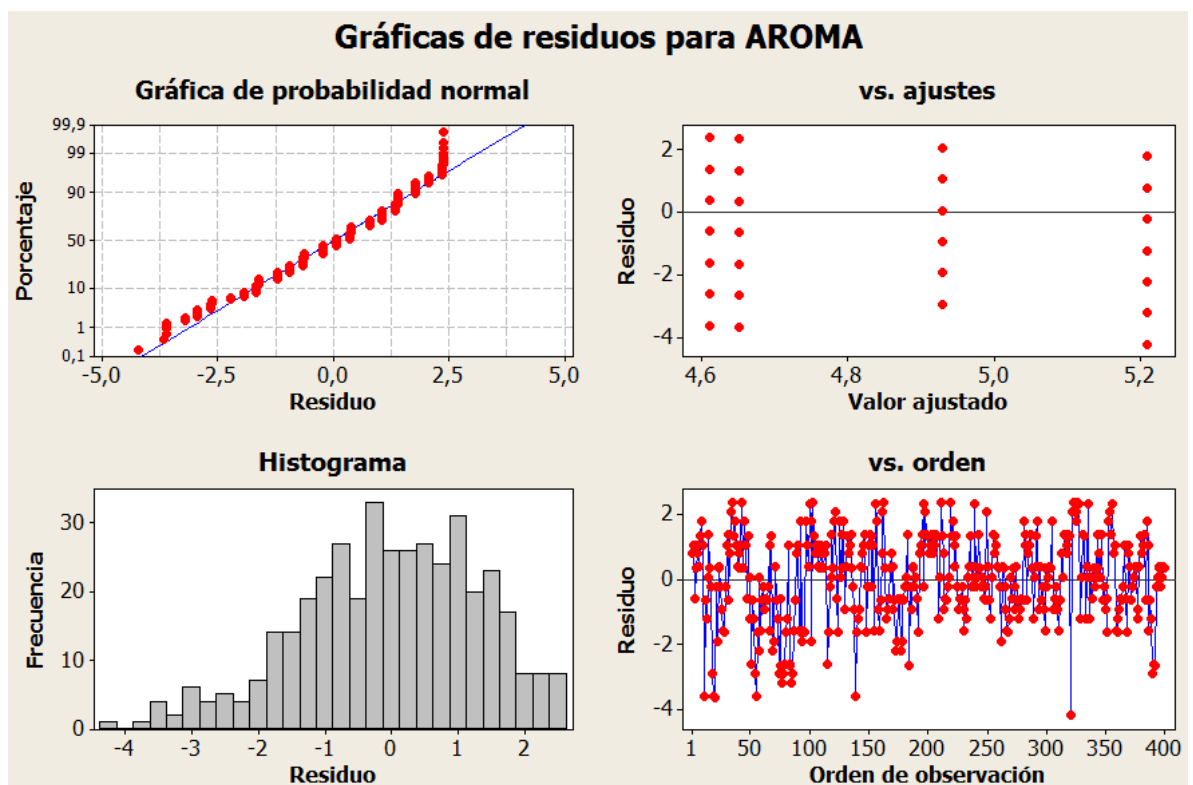


Figura A31. Validación de los supuestos por análisis gráfico para el aroma del pan.

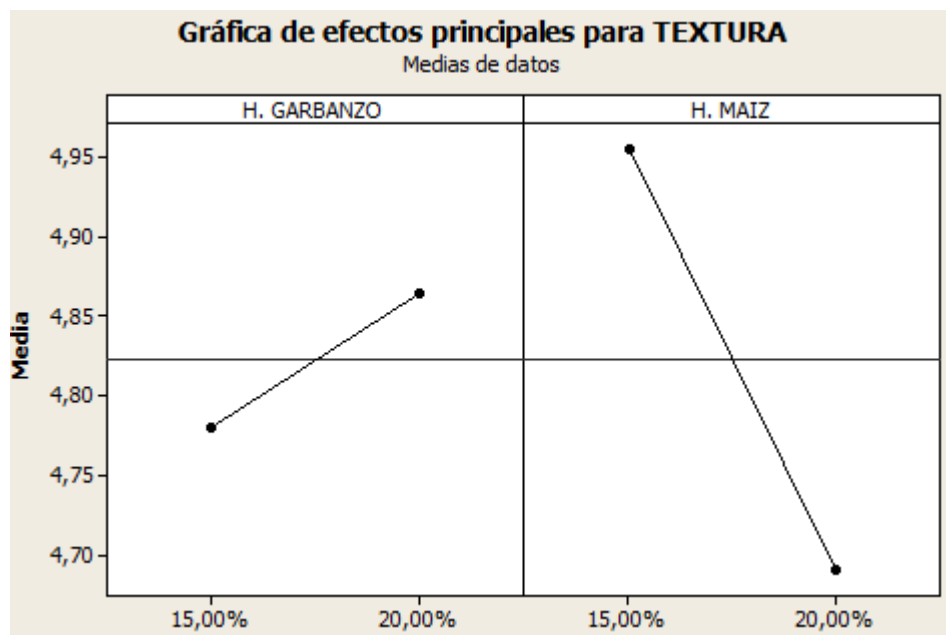


Figura A32. Efectos de los principales factores sobre la textura de los panes.

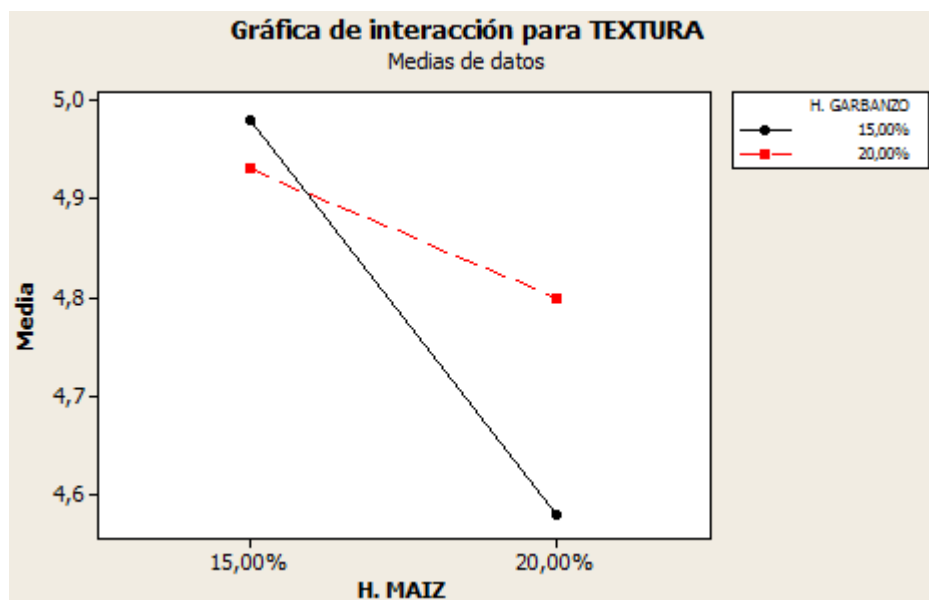


Figura A33. Interacción de los factores sobre la textura de los panes.

Tabla A19. Análisis de varianza (ANOVA) para la textura de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	0,722	0,722	0,722	0,41	0,521
H. MAIZ	1	7,023	7,023	7,023	4,01	0,046
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	1,823	1,823	1,823	1,04	0,308
Error	396	692,830	692,830	1,750		
Total	399	702,397				

Tabla A20. Prueba de comparación Tukey para el efecto del factor harina de maíz sobre la textura de los panes.

H. MAIZ	N	Media	Agrupación
0,15	200	4,955	A
0,20	200	4,690	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

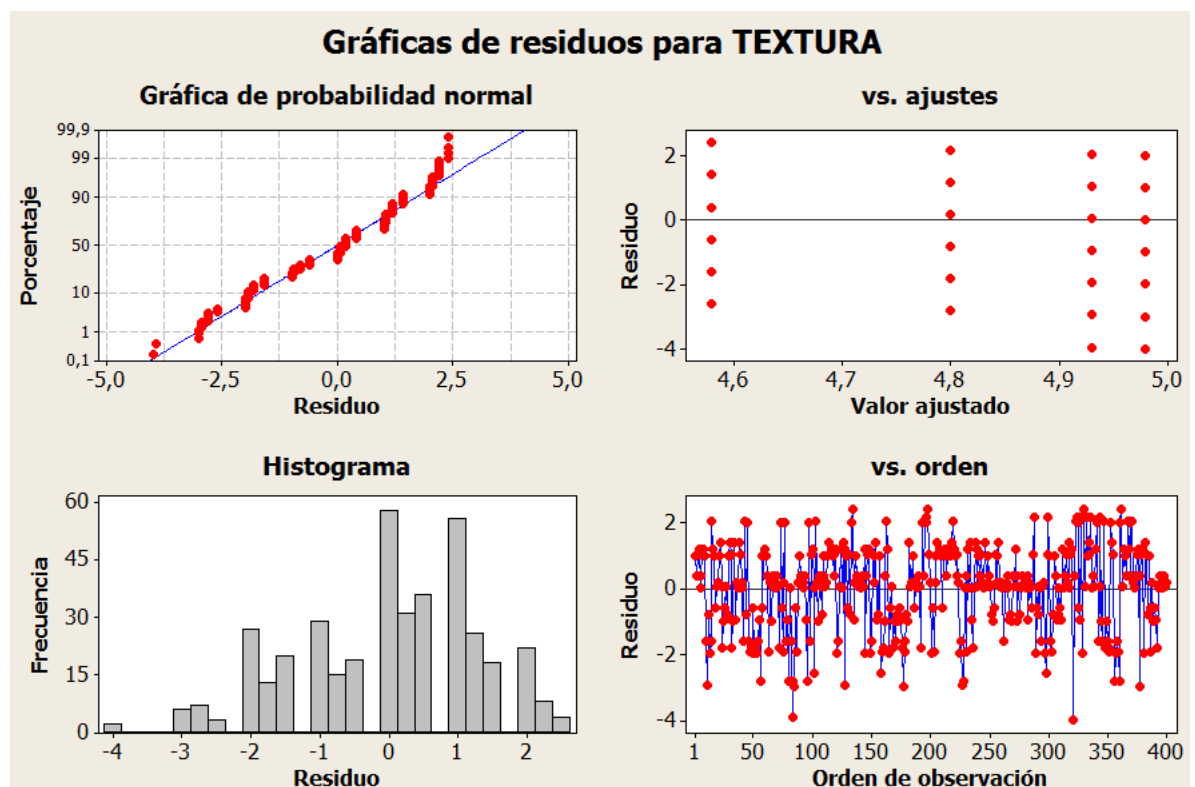


Figura A34. Validación de los supuestos por análisis gráfico para la textura del pan.

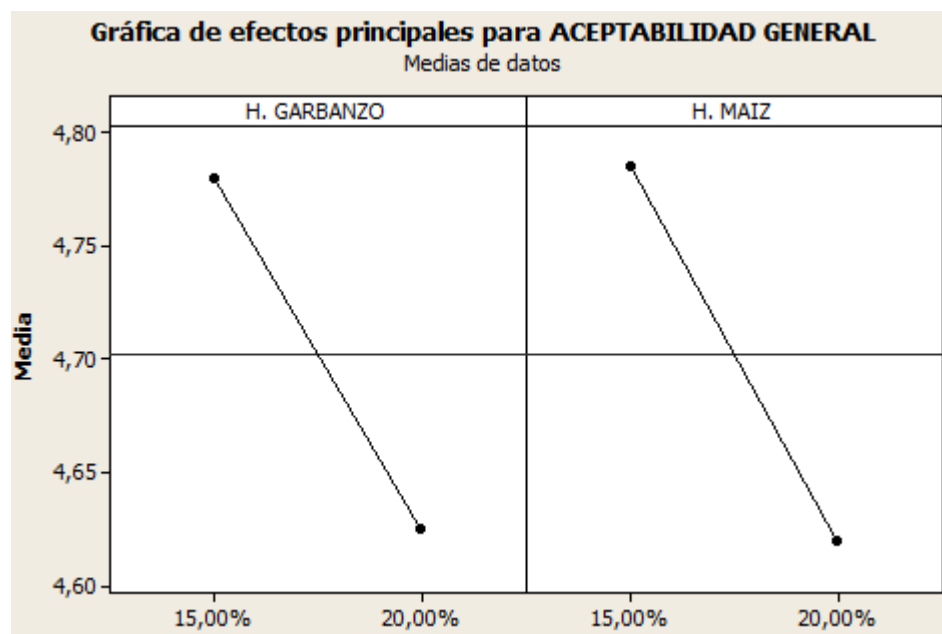


Figura A35. Efectos de los principales factores sobre la aceptabilidad general de los panes.

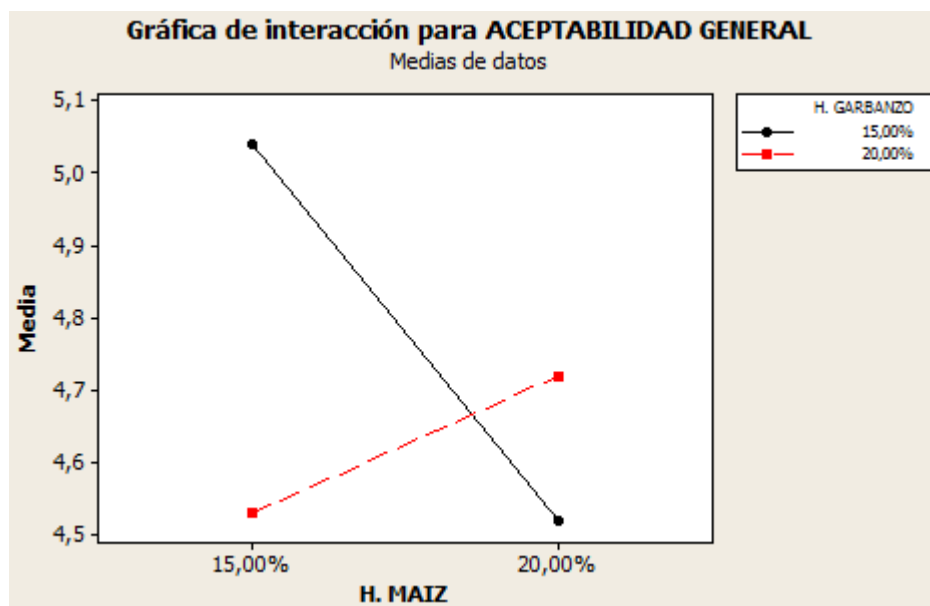


Figura A36. Interacción de los factores sobre la aceptabilidad general de los panes.

Tabla A21. Análisis de varianza (ANOVA) para la aceptabilidad general de los panes.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
H. GARBANZO	1	2,403	2,403	2,403	1,61	0,206
H. MAIZ	1	2,722	2,722	2,722	1,82	0,178
H. GARBANZO*H. MAIZ	1	12,603	12,603	12,603	8,43	0,004
Error	396	591,870	591,870	1,495		
Total	399	609,579				

Tabla A22. Prueba de comparación Tukey para el efecto de la interacción de los factores sobre la aceptabilidad general de los panes.

H. GARBANZO	H. MAIZ	N	Media	Agrupación
0,15	0,15	100	5,040	A
0,20	0,20	100	4,720	A B
0,20	0,15	100	4,530	B
0,15	0,20	100	4,520	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes al 5%, según el criterio de Tukey

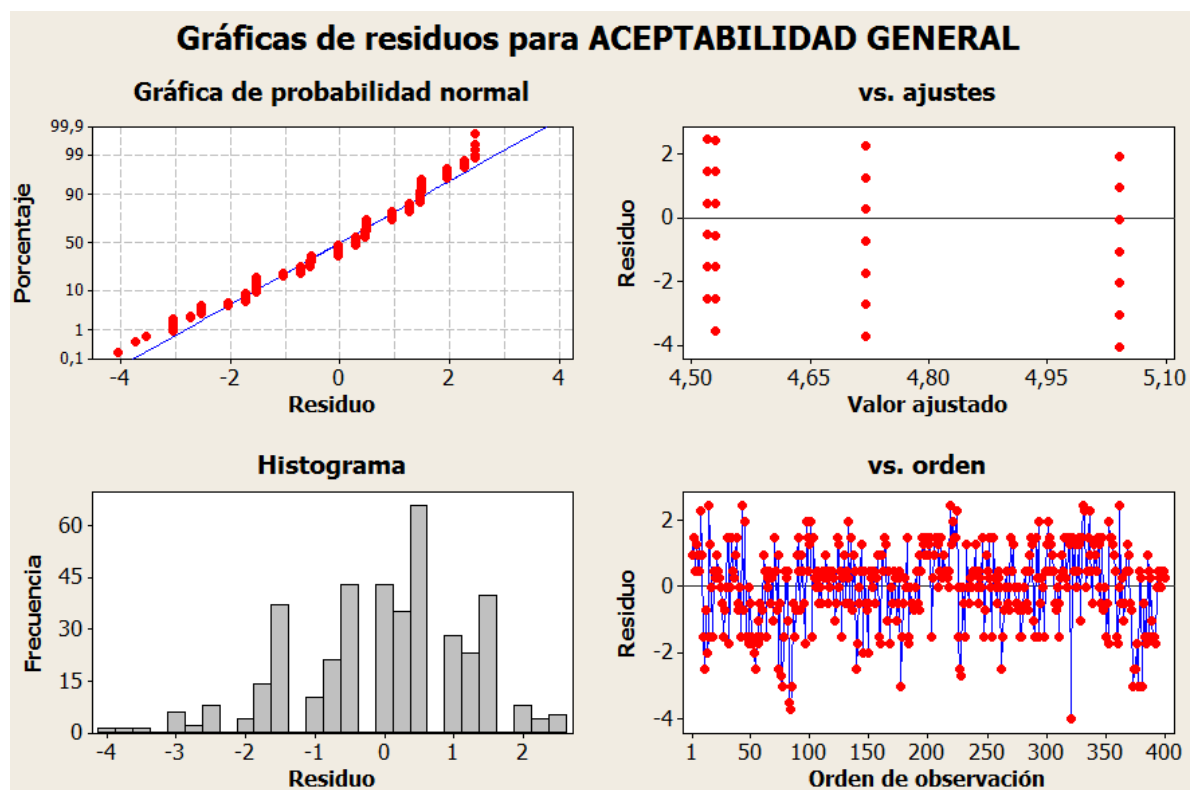


Figura A37. Validación de los supuestos por análisis gráfico para la aceptabilidad general de los panes.