

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

Proyecto Final de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos para optar por
el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

**Aprovechamiento de un subproducto de la molienda seca del maíz en productos horneados
libres de gluten**

Elaborado por:

WENDY ALEJANDRA NARANJO CHAVES

B14662

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Diciembre, 2018

TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto Final de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

Aprobado por:



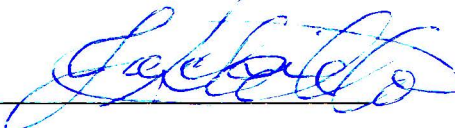
Ana Lucía Mayorga Gross

Presidente del Tribunal



Ph.D. Elba Cubero Castillo

Directora del Proyecto



M.Sc. Jacqueline Aiello Ramírez

Asesora del Proyecto



Ph.D Ana Ruth Bonilla Leiva

Asesora del Proyecto



M.Sc. Yorleny Araya Quesada

Profesora Designada

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a todos mis seres queridos, especialmente a mis padres por brindarme la valiosa oportunidad del estudio a costa de muchos sacrificios propios, a mi hermano como muestra de que es posible culminar esta etapa universitaria; a pesar, de lo difícil e incierto que se torna el proceso en ciertas ocasiones, a mi esposo para quien mis logros son suyos también y para todos mis amigos y compañeros universitarios con los que aprendí más allá de conocimientos teóricos.

AGRADECIMIENTOS

Te agradezco Padre, porque has sido bueno conmigo en todo momento, desde complacerme en darme la entrada a la carrera que escogí, hasta darme la paciencia, los recursos, la capacidad y la salud para culminar este proyecto.

A Ma, por entregar su vida por sus hijos, por tantas muestras de amor y de esfuerzo para vernos cumplir grandes metas. A Pa, por darme lo necesario para estudiar y prepararme con confianza en mí.

A Marcos, gracias por permitirme realizar la tesis con tranquilidad y todas las comodidades posibles y más aún, por mostrar siempre orgullo y amor en lo que hago.

A mis compañeros universitarios, por compartirme tantas cosas que necesité y enseñarme a disfrutar de este proceso con humor, sin ustedes esta etapa no hubiera sido lo mismo. A Valeria y a Priscilla por compartirme su conocimiento de los pancitos y la harina. A Rebeca, a Naty, a las asistentes de sensorial por ayudarme en los paneles y en los análisis.

A mi profesora consejera y directora del proyecto Elba, por recibirme y aconsejarme desde el inicio de mi etapa universitaria, por todo su valioso apoyo y paciencia. Por su profesionalismo y sencillez, cada vez que necesité aclarar dudas o pedir consejo. A las profesoras asesoras, Jacqui y Ana Ruth por confiarme este trabajo, por el tiempo dedicado siempre con amabilidad y por todo el conocimiento compartido.

Al personal del laboratorio de Química, Graciela, Eduardo, Randall y Silvia, gracias por el apoyo, el análisis y el cuidado de mis muestras y por supuesto, por enseñarme cada proceso con mucha paciencia.

A todo el personal de la Escuela por acompañarme, informarme y darme todo lo que necesité para llevar a cabo este proyecto. Y por supuesto, a Camacho y Alonso por estar siempre dispuestos a ayudarme con los equipos, por el apoyo emocional y por pasar a molestarme de vez en cuando.

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL EXAMINADOR.....	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
ABREVIATURAS	X
RESUMEN	XI
JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVOS.....	4
MARCO TEÓRICO.....	5
A. <i>El Gluten</i>	5
B. <i>La enfermedad celiaca y otros trastornos relacionados</i>	6
C. <i>El Mercado de los Productos Libres de Gluten (PLG)</i>	7
D. <i>La fibra dietética (FD)</i>	8
E. <i>El maíz (Zea mays L. ssp. Mays)</i>	10
i. <i>Generalidades</i>	10
ii. <i>Estructura del grano de maíz</i>	11
iii. <i>Composición Química</i>	13
iv. <i>Procesamiento industrial del maíz</i>	16
v. <i>Estabilidad del maíz y sus productos derivados</i>	20
F. <i>El arroz (Oryza sativa L.)</i>	23
G. <i>La Yuca (Manihot esculenta Crantz)</i>	24
H. <i>Productos Horneados: Galletas, Pan y sus Ingredientes</i>	25
I. <i>Tamaño de partícula (TP)</i>	25
J. <i>Propiedades tecnológicas</i>	27
K. <i>Color</i>	32
L. <i>Textura</i>	33
M. <i>Prueba de sensorial de agrado</i>	35
MATERIALES Y MÉTODOS	37
A. <i>Localización</i>	37
B. <i>Materias primas</i>	37
C. <i>Equipos</i>	38
D. <i>Pruebas Preliminares</i>	38
E. <i>Pruebas definitivas</i>	46
i. <i>Descripción general de la metodología experimental</i>	46

ii.	Composición química	49
iii.	Propiedades tecnológicas	50
iv.	Elaboración de productos horneados con sustitución de algunas fracciones del subproducto de maíz y análisis de sus características de calidad	51
v.	Panel sensorial de agrado	52
F.	Métodos de análisis	52
i.	Tamaño de partícula (TP).....	52
ii.	Composición química	54
iii.	Propiedades tecnológicas	55
a.	Capacidad de Absorción de Aceite (CAA).....	55
b.	Capacidad de retención de Agua (CRA)	56
c.	Capacidad de Formación de Espuma (CFE) y Estabilidad de la Espuma (EE)	56
d.	Densidad bulk (ρ_b).....	57
e.	pH.....	58
iv.	Características de calidad de los productos horneados	58
a.	Diámetro, grosor y expansión de galletas	58
b.	Volumen específico (cm^3/g) y altura del pan	59
c.	Color.....	59
d.	Propiedades reológicas de galletas y pan de molde	60
v.	Prueba sensorial de agrado	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		62
A.	Análisis del tamaño de partícula	62
B.	Composición química	66
C.	Propiedades tecnológicas	70
D.	Elección de las fracciones y los porcentajes de sustitución para los productos horneados	77
E.	Resultados de la elaboración de galletas sin harina de trigo	82
i.	Características de calidad de las galletas horneadas (masa final, diámetro, grosor y expansión)	82
ii.	Color.....	84
iii.	Textura.....	85
iv.	Panel sensorial de agrado.....	87
F.	Elaboración de pan de molde sin harina de trigo	88
i.	Características de calidad (Volumen, altura).....	88
ii.	Color.....	89
iii.	Textura.....	91
iv.	Panel sensorial de agrado.....	92
CONCLUSIONES		95
RECOMENDACIONES		96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		97
ANEXOS.....		118

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO I. Composición química del maíz en base seca según las diferentes partes del grano	13
CUADRO II. Propiedades físicas y químicas de almidones de diferentes fuentes.	13
CUADRO III. Composición química de diferentes cereales.....	15
CUADRO IV. Clasificación general de los productos de la molienda seca del maíz y sus usos	19
CUADRO V. Definiciones utilizadas en la determinación del perfil de textura de alimentos.	35
CUADRO VI. Información de los principales equipos utilizados para el análisis de materia prima y la elaboración de productos horneados.....	38
CUADRO VII. Composición química en base húmeda del subproducto de maíz en un ensayo preliminar para la caracterización de dicha materia prima, representa el lote 0	40
CUADRO VIII. Diseño de bloques completos al azar con un factor (fracción) para la composición química de la materia prima.	49
CUADRO IX. Diseño de bloques completos al azar con un factor (tipo de harina o fracción) para la determinación de las propiedades tecnológicas.	50
CUADRO X. Diseño de bloques completos al azar con dos factores (porcentaje de sustitución y fracción) para la elaboración de productos horneados y la determinación de sus características reológicas y de calidad.	51
CUADRO XI. Diseño irrestricto aleatorio con dos factores (porcentaje de sustitución y tipo de fracción) para la determinación del agrado de los productos horneados mediante una prueba de aceptación sensorial.	52
CUADRO XII. Número de tamiz según la serie us estándar, tamaño de apertura y diámetro medio de partícula utilizados para el análisis granulométrico.	53
CUADRO XIII. Condiciones utilizadas para la medición de las propiedades reológicas de los productos horneados con el texturómetro TA. XTplus.....	61
CUADRO XIV. Principales fracciones del subproducto de maíz según su tamaño medio de partícula y rendimiento.	64
CUADRO XV. Diámetro promedio (D_p) inicial y final de las fracciones reducidas en molino de martillos, razón de reducción de tamaño y rendimiento	65
CUADRO XVI. Composición química del subproducto de maíz sin fraccionar.....	66
CUADRO XVII. Composición química de diferentes fracciones del subproducto de maíz expresada en base seca	67
CUADRO XVIII. Composición nutricional de las harinas comerciales de arroz y yuca marca Jinca foods	70
CUADRO XIX. Densidad <i>bulk</i> (g/cm^3) y pH de las diferentes fracciones del subproducto de maíz y productos de referencia.....	76
CUADRO XX. Fracciones elegidas y sus características para realizar pruebas de sustitución en productos horneados.....	77

CUADRO XXI. Características de productos horneados para definir los porcentajes de sustitución	80
CUADRO XXII. Composición nutricional teórica de productos horneados al sustituirlos con el subproducto de maíz.....	81
CUADRO XXIII. Resultados del análisis de varianza de las dimensiones y masa de las galletas horneadas con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.	82
CUADRO XXIV. Características de calidad de galletas horneadas sustituidas con subproducto de maíz	83
CUADRO XXV. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de galletas con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.....	84
CUADRO XXVI. Parámetros de color de las galletas horneados y sustituidas con subproducto de maíz.	85
CUADRO XXVII. Resultados del análisis de varianza del agrado las galletas para tres conglomerados (grupos).	87
CUADRO XXVIII. Comparación de medias del valor de agrado en una escala del 0 al 10 para tres conglomerados de la evaluación de galletas dulces.	87
CUADRO XXIX. Resultados del análisis de varianza de la altura y el volumen específico de pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.	88
CUADRO XXX. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.....	90
CUADRO XXXI. Parámetros de color para pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.	90
CUADRO XXXII. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de perfil de textura de pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.	91
CUADRO XXXIII. Parámetros de la prueba de perfil de textura (TPA) de pan de molde con sustitución de subproducto de maíz.	92
CUADRO XXXIV. Resultados del análisis de varianza del agrado de pan de molde para tres conglomerados (grupos).....	93
CUADRO XXXV. Comparación de medias del valor de agrado en una escala del 0 al 10 para los tres conglomerados en la evaluación de pan de molde.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de las partes anatómicas del grano de maíz	12
Figura 2. Curva de fracción relativa porcentual.....	27
Figura 3. Angulo de tono (°Hue) según las coordenadas de color del sistema CIELch	33
Figura 4. Curva de fuerza-desplazamiento típica de una prueba de perfil de textura	34
Figura 5. Prueba cualitativa de peroxidasa aplicando peróxido de hidrógeno en el subproducto de maíz.....	39
Figura 6. Flujo de proceso de la elaboración de galletas dulces.....	41
Figura 7. Galletas crudas en bandeja.....	42
Figura 8. Flujo de proceso de la elaboración de pan de molde	44
Figura 9. Pan de molde sin harina de trigo	46
Figura 10. Esquema metodológico de los experimentos que se realizaron en la investigación	48
Figura 11. Tamices obstruido con partículas finas.....	54
Figura 12. Diámetro y grosor medidos en galletas dulces.....	59
Figura 13. Escala híbrida utilizada para los paneles sensoriales de agrado.....	61
Figura 14. Curvas de distribución de tamaño de cuatro lotes de subproducto de maíz obtenidas por el método de tamices según el análisis diferencial.	62
Figura 15. Ilustración de las principales fracciones del subproducto según los tamaños del cuadro XIV.....	64
Figura 16. Curvas de distribución de tamaño de las fracciones de los tamices 18 (1205 μm) y 25 (853 μm) molidas con molino de martillos.....	66
Figura 17. Capacidad de absorción de aceite y capacidad de retención de agua de fracciones del subproducto de maíz y harinas de referencia.....	70
Figura 18. Estructura de la fibra antes y después de la molienda, donde la imagen de la izquierda es tipo panal y la derecha es una estructura plana	71
Figura 19. Características de las masas de pan durante el mezclado.....	73
Figura 20. Capacidad de formación de espuma de las fracciones del subproducto de maíz y productos de referencia.....	74
Figura 21. Estabilidad de la espuma (EE) de las diferentes fracciones del subproducto de maíz y productos de referencia medida en diferentes tiempos	74
Figura 22. Ilustración de las galletas sin harina de trigo sustituidas con subproducto de maíz	85
Figura 23. Dureza de las galletas elaboradas con sustitución de subproducto de maíz.....	86
Figura 24. Altura y volumen específico de pan de molde sustituido con subproducto de maíz.	89
Figura 25. Pan de molde sin harina de trigo sustituido con subproducto de maíz.	89

ÍNDICE DE ANEXOS

CUADRO XXXVI. Masas del subproducto de maíz retenidas por tamiz utilizadas para el análisis diferencial y acumulativo de tamaño de partícula	118
CUADRO XXXVII. Masas del subproducto de maíz retenidas por tamiz utilizadas para el análisis diferencial y acumulativo de tamaño de partícula de las fracciones del tamiz 18 y 25 molidas.....	119
CUADRO XXXVIII. Información de las harinas comerciales utilizadas	121
CUADRO XXXIX. Resultados de los análisis de varianza de la composición química de las fracciones de subproducto de maíz.	121
CUADRO XL. Resultados de los análisis de varianza para las propiedades tecnológicas de las fracciones de subproducto de maíz y las muestras de referencia	122
CUADRO XLI. Capacidades de formación de espuma (CFE) y la estabilidad de la espuma (EE) de diferentes productos en diferentes tiempos.	122
CUADRO XLII. Resultados del análisis de varianza los parámetros de calidad de galletas y pan sin harina de trigo sustituidos con fracciones de subproducto de maíz	123
CUADRO XLIII. Resultados del análisis de varianza de las pruebas de textura de pan y galletas sin harina de trigo sustituidos con fracciones de subproducto de maíz.	124
CUADRO XLIV. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de galletas y pan sin harina de trigo sustituidos con fracciones de subproducto de maíz.	124
Figura 26. Capacidades de formación de espuma observadas de diferentes productos.	123

ABREVIATURAS

°H: ángulo hue o tono

18R: fracción retenida en tamiz 18 y molida

25R: fracción retenida en tamiz 25 y molida

AG: alergia al gluten

AGM: alimento de gluten de maíz

C*: chroma o saturación

CO: tratamiento control 0% sustitución

CAA: capacidad de absorción de aceite

CFE: capacidad de formación de espuma

CRA: capacidad de retención de agua

Dp: diámetro medio de partícula

EC: enfermedad celíaca

EE: estabilidad de la espuma

F30: tratamiento 30% sustitución con fracción de 301 μm

F50: tratamiento 50% sustitución con fracción de 301 μm

FD: fibra dietética

G30: tratamiento 30% sustitución con fracción de 530 μm

G50: tratamiento 50% sustitución con fracción de 530 μm

L: luminosidad

MH: molienda húmeda

MS: molienda seca

PLG: productos libres de gluten

SGNG: sensibilidad al gluten no celiaca

TP: tamaño de partícula

TPA: prueba de perfil de textura

RESUMEN

Naranjo Chaves, Wendy Alejandra.

Aprovechamiento de un subproducto de la molienda seca del maíz en productos horneados libres de gluten.

Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos. -San José, Costa Rica:

W. Naranjo C. 2018

139 pp.: 26 il. – 175 refs.

El objetivo del trabajo fue caracterizar un subproducto de la molienda seca del maíz compuesto por diferentes fracciones granulométricas para su aprovechamiento en la formulación de dos productos libres de gluten con valor nutricional mejorado. Al subproducto se le realizó un proceso de estabilización que consistió en un autoclavado (110 °C, presión 50 kPa, por 20 min) y secado con aire caliente (70 °C por 40 min). Luego se analizó el tamaño de partícula, la composición química y las propiedades tecnológicas de cada una de las fracciones del subproducto.

A partir de dichos análisis, se encontraron seis fracciones con tamaños de 1205 µm, 853 µm, 603 µm, 427 µm, 301 µm y 213 µm, las cuales no variaron en el contenido de humedad, proteína ni grasa; pero, difirieron en el porcentaje de fibra y almidón. Las fracciones con tamaño superior a los 427 µm presentaron mayor cantidad de fibra y menos almidón. Por otra parte, se determinó que a menor tamaño de partícula disminuyeron la capacidad de absorción de aceite y la retención de agua; mientras, que aumentó la densidad *bulk*. No se vio efectos importantes en el pH y se determinó que las fracciones no poseen capacidad de formación de espuma.

Después del análisis de las fracciones, se escogieron las de 301 µm y 530 µm de diámetro (mezcla de los tamaños 603 µm y 427 µm) para elaborar galletas y pan de molde con 30% y 50% de sustitución en la harina libre de gluten. Dichas sustituciones no afectaron la masa final, el diámetro, el grosor, la expansión ni la dureza de las galletas entre tratamientos; mientras que, disminuyó la luminosidad y aumentó la saturación del color de estas, haciendo que se percibieran como más amarillas. En el pan, a mayor tamaño de partícula y porcentaje de sustitución, disminuyeron la altura, el volumen, la luminosidad y el tono; mientras que aumentó la saturación. La sustitución

también afectó los parámetros de textura del pan, aumentando la dureza y disminuyendo su elasticidad; no obstante, los valores difirieron en magnitudes pequeñas.

Finalmente, los productos se evaluaron mediante una prueba de agrado con un panel sensorial de 112 consumidores. Las galletas con la fracción de 301 μm hasta 50% de sustitución y la fracción de 530 μm con 30% como máximo de sustitución, fueron las más aceptadas de todos los tratamientos y a la vez podrían ser declaradas como “con fuente de fibra”. Los mismos objetivos se lograron en el pan con la sustitución de 50% usando la fracción de 530 μm . Como conclusión general fue posible utilizar el subproducto de maíz en la formulación de productos libres de gluten con buena aceptación por parte de los consumidores.

MAÍZ, FIBRA DIETÉTICA, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS, TAMAÑO DE PARTÍCULA, LIBRE DE GLUTEN, ESTABILIZACIÓN

PhD. Elba Cubero Castillo, directora del proyecto

Escuela de Tecnología de Alimentos.

JUSTIFICACIÓN

La prevalencia de la enfermedad celíaca (EC) ha sido estimada en un 1% de la población mundial; sin embargo, estudios recientes indican que esa cifra ha aumentado a 3%, convirtiéndose en uno de los desórdenes crónicos más comunes de la actualidad (Sapone *et al.* 2012, Ronda *et al.* 2017). Además, se han descubierto otros trastornos que se desencadenan como consecuencia de la ingesta de gluten, tal como lo son la alergia al gluten, la sensibilidad al gluten no celíaca, problemas neurológicos, dermatitis atópica, manifestaciones osteomusculares, entre otras (Sapone *et al.* 2012, Castro y Acosta 2014, Reig-Otero *et al.* 2017).

Dado que el único tratamiento eficaz para los anteriores padecimientos consiste en el seguimiento de una dieta exenta de gluten de por vida (Ataye y Sardarodiyani, 2016, Jnawali *et al.* 2016), se impulsó el mercado de los productos libres de gluten (PLG); aunado a esto, los nuevos roles de consumo han promovido que cada vez más personas opten por evitar dicho componente aun sin padecer celiaquía (Matos 2013, Estévez y Araya 2016, Reig-Otero *et al.* 2017).

Lo cierto es que una dieta libre de gluten a largo plazo podría ocasionar desequilibrios nutricionales como problemas de crecimiento en niños, deficiencia de hierro y calcio, consumo pobre de fibra y el aumento de la obesidad; ya que, la mayoría de los PLG se producen con harinas y almidones refinados, son pobres en vitaminas, minerales, proteína y fibra, mientras que contienen una cantidad de grasas y/o carbohidratos muy significativa y por consiguiente un contenido energético superior que no es de calidad (PROCOMER 2017b, 2017c).

Por otra parte, se reporta que el maíz es el tercer cultivo de mayor producción y rendimiento en el mundo; no obstante, cerca del 63%-85% de sus cosechas se descartan o se destinan a la alimentación animal en forma de subproductos que se generan al producir la harina de maíz. Estos consisten en fracciones de tamaño diverso que abarcan el germen, el salvado y partículas remanentes de almidón (Barbosa-Canovas y Yan 2003, Bolade 2009, Charalampopoulos *et al.* 2009, Izquierdo y Cirilo 2013, Sánchez 2014, Shobha *et al.* 2014, Lang *et al.* 2014, , Fernández-Muñoz *et al.* 2016, Nawaz *et al.* 2016).

Dichas fracciones no se han aprovechado industrialmente debido a su alta tasa de oxidación, tamaño de partícula relativamente grande y considerable contenido de fibra no deseado a nivel sensorial (Granito y Guerra 1997, Torres *et al.* 2009). Así, desde la aplicación de la Ingeniería de Alimentos se busca aprovechar este subproducto y utilizarlo como materia prima. Por ejemplo, estudios previos reportan que es posible retrasar la oxidación de cereales de grano entero mediante un tratamiento térmico (Becker 2008, Lezama 2015); aunado a esto, el análisis granulométrico y tamizaje permiten separar las fracciones con tamaño de partícula más idóneo para incorporarlas a un producto y mediante la determinación de su composición química y propiedades tecnológicas, se pueden seleccionar los componentes con mayores ventajas a nivel nutricional y tecnológico.

Se reporta que dichas fracciones cuentan con un nivel de proteína, fibra y compuestos bioactivos incluso mayor al del endospermo (Hernández *et al.* 1999a, 1999b, Paliwal *et al.* 2001, Molinares 2002, ILSI 2006, Weigel *et al.* 2007, Torres *et al.* 2009, González y Aramburo 2011, Sánchez 2014). También, existe evidencia de su aptitud para ser adicionadas en diversas formulaciones, permitiendo mejorar el perfil nutricional de distintos productos; aunque, los estudios no son recientes y no se han aplicado en la fabricación de PLG (FAO 1993, Guerra *et al.* 1998, Hernández *et al.* 1999, Pacheco y Vivas 2003, Torres *et al.* 2009).

Se debe rescatar su aporte de fibra dietética pues favorece la salud de diferentes maneras. Ayuda a prevenir el cáncer gastrointestinal, disminuye la respuesta a la insulina y controla el perfil de lípidos en la sangre, evitando enfermedades cardiovasculares; además, contribuye a la supresión del apetito, la disminución del vaciado gástrico y la inducción a la saciedad, lo cual combate la obesidad y la diabetes tipo II (Pins *et al.* 2001, Tosh y Yada 2010, Awika 2011).

Debido a que el sector de panadería es donde se evidencia mayor consumo entre la oferta libre de gluten (PROCOMER 2017d) se propuso el estudio de dicha materia prima en productos horneados. Se escogió elaborar prototipos de pan de molde y galletas, con el fin de observar las distintas propiedades reológicas, físicas y sensoriales que proveen dos matrices diferentes y así, generar conocimiento para futuras investigaciones y desarrollo de productos.

Finalmente, este trabajo también resulta de interés para el sector agroalimentario debido a que a nivel comercial involucra algunas de las tendencias más sobresalientes del mercado actual, dentro

de las cuales se destacan la propuesta de un producto de fácil acceso y de consumo inmediato, la revalorización de subproductos para reducir el desperdicio alimentario, la incorporación de fibra con beneficios para la salud y el mejoramiento nutricional de un PLG (Sigmabiotech 2017).

OBJETIVOS

A. Objetivo General

- a. Estudiar el efecto de diferentes fracciones de un subproducto de la molienda seca del maíz, en galletas y pan de molde libres de gluten para el mejoramiento de su valor nutricional y calidad mediante la caracterización de sus propiedades tecnológicas, fisicoquímicas, reológicas y sensoriales.

B. Objetivos Específicos

- a. Caracterizar el subproducto de la molienda seca del maíz mediante el análisis de su composición química, tamaño de partícula y propiedades tecnológicas para la elección de aquellas con mayor potencial de aplicación en productos horneados libres de gluten.
- b. Comparar las características reológicas, físicas y sensoriales de galletas y pan de molde libres de gluten con diferentes sustituciones de fracciones del subproducto de maíz para su relación con las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas de dicha materia prima.

MARCO TEÓRICO

A. El Gluten

Según se reporta, el gluten fue descubierto en 1728 cuando Jacopo Bartholomew Beccari, un profesor de Química, lo aisló tras lavar una masa de harina, obteniendo un residuo gelatinoso. En 1823, Osborne y Voorhees desarrollaron un procedimiento para fraccionar los componentes de dicho material y se encontró que consistía en cuatro proteínas (las albúminas, globulinas, prolaminas y las glutelinas) con solubilidades diferenciadas según los siguientes solventes: agua, sal diluida, etanol al 70% y soluciones de ácido-álcali diluidos. Posteriormente, en 1936 se reveló el desdoblamiento del gluten después de la adición de agentes reductores y la existencia de enlaces de disulfuro necesarios para mantener su estructura y funcionalidad (Villanueva 2014).

Dichas proteínas se suelen agrupar en dos tipos, las gliadinas (prolaminas) y las gluteninas (glutelinas). Las primeras son solubles en alcoholes, son de cadena simple (monoméricas), interaccionan unas con otras por enlaces no covalentes como puentes de hidrógeno, son pegajosas cuando se hidratan y muestran poca resistencia a la extensión; es decir, permiten la extensibilidad. Las segundas son un grupo heterogéneo soluble en ácidos y álcalis diluidos, son de cadena múltiple (poliméricas) estabilizadas por enlaces disulfuro, gomosas, propensas a la ruptura y presentan resistencia a la extensión y fuerza; por lo cual, permiten la elasticidad. Es así como ambos tipos de proteínas confieren a las masas sus propiedades viscoelásticas, las cuales van a depender de la proporción relativa ellas (Shewry 2002, Molina-Rosell 2013, Villanueva 2014).

La importancia del gluten en la panificación radica en que al interaccionar con los polisacáridos de la masa (almidón y pentosanos) se obtiene un producto firme y a la vez flexible, con capacidad de retener agua y aire generando panes y otros productos horneados con una textura y forma adecuadas. Además, es muy utilizado en la industria de alimentos para formar emulsiones, espumas y geles. También sirve como vehículo para aromatizantes, colorantes, especias, aditivos, conservantes, ligantes, entre otros. Se utiliza como espesante en la mayoría de los alimentos procesados (caldos, salsas, carnes procesadas, alimentos enlatados, gelatinas y medicamentos) y muchas veces cumple la función de sustituir proteínas animales en diferentes productos para disminuir los costos de producción (Estévez y Araya 2016).

B. La enfermedad celiaca y otros trastornos relacionados

La enfermedad celiaca (EC) consiste en una reacción autoinmune generada tras la ingestión de gluten en personas genéticamente predispuestas. En quienes la padecen, las gliadinas y las gluteninas logran traspasar la barrera epitelial del intestino delgado, lo cual causa la activación de las células T en la mucosa gastrointestinal y luego son enfrentadas por los antígenos del organismo, los leucocitarios de histocompatibilidad (HLA) de clase II, conocidos como HLA-DQ2 y HLA-DQ8, localizados en el cromosoma 6p21 (Bevilacqua *et al.* 2016).

Dicha reacción mantenida en el tiempo daña la vellosidad del intestino delgado generando lesiones que disminuyen la superficie disponible para la absorción de nutrientes incluyendo el hierro, ácido fólico, calcio y vitaminas (como la B12 y D), lo cual genera carencias nutricionales y enfermedades derivadas de éstas como la osteopenia y la artritis. Además, a nivel físico se producen síntomas como distensión y dolor abdominal, diarrea y flatulencia (Catassi y Fasano 2008, Castro y Acosta 2014, Reig-Otero *et al.* 2017).

Se considera que el trigo, la cebada y el centeno son los cereales capaces de desarrollar la EC. Esto se explica porque los tres provienen de la misma subfamilia (*Pooideae*) y tribu (*Triticeae*) donde la secuencia de sus prolaminas (llamadas gliadina, hordeína y secalina respectivamente) es similar y su composición es considerablemente mayor en ácido glutámico y en prolina en comparación con los demás cereales (Vega *et al.* 2006, Belitz *et al.* 2009, Gallagher 2009, Molina-Rosell 2013).

Por otro lado, la alergia al gluten (AG) es una reacción alérgica donde los anticuerpos IgE juegan un rol central en su patogénesis. Esta se evidencia por síntomas como asma, erupciones de la piel, dermatitis y choque anafiláctico (Reig, 2015; Catassi y Fasano, 2008). Además, recientemente se ha clasificado otro tipo de reacción, la sensibilidad al gluten no celiaca (SGNC), definiéndose de forma tan general como aquellos casos de reacción al gluten donde se han descartado tanto los mecanismos gastrointestinales autoinmunes, como los alérgicos (Reig-Otero *et al.* 2017).

La distribución geográfica de la EC estuvo principalmente restringida a Europa y otros países como Estados Unidos, Canadá y Australia. Sin embargo, nuevos estudios epidemiológicos han revelado que este desorden es común en muchos países en desarrollo. En consecuencia, la EC es

uno de los desórdenes crónicos más comunes en la actualidad y afecta cerca del 3% de la población mundial sin contar los casos relacionados a la AG y a la SGNC (Catassi y Fasano 2008, Sapone *et al.* 2012, Ronda *et al.* 2017, Taghdir *et al.* 2017)

C. El Mercado de los Productos Libres de Gluten (PLG)

En relación con la EC, AG y la SGNC, el único tratamiento eficaz para controlar estos padecimientos consiste en seguir una dieta libre de gluten (Ataye Salehi y Sardarodiyani 2016, Jnawali *et al.* 2016). Fue así como nació un mercado de productos procesados respondiendo a las necesidades de dichos pacientes (Molina-Rosell 2013). La definición de alimentos libres o exentos de gluten corresponde a:

“Alimentos que están constituidos por, o son elaborados únicamente con, uno o más ingredientes que no contienen trigo (es decir, todas las especies de Triticum, como el trigo duro, la espelta y el trigo “khorasan”, que también se comercializa con diferentes marcas como KAMUT), el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas ... o que han sido procesados de forma especial para eliminar el gluten, y cuyo contenido de gluten no sobrepasa los 20 mg/kg en total, medido en los alimentos tal como se venden o distribuyen al consumidor” (Codex 2015).

En la actualidad los PLG se han popularizado entre la población en general por considerarse más sanos; por ejemplo, se estima que las ventas de PLG en Estados Unidos alcanzaron más de \$2,6 billones a finales de 2010; mientras que para el 2017, se proyectaron en \$6,6 billones (Matos 2013, Sapone *et al.* 2012). No obstante, la calidad de dichos alimentos es muy inferior a la de sus homólogos convencionales; ya que, tienden a envejecer rápidamente y su textura es seca y muy boronosa. Aparte, carecen de muchos nutrientes como proteína, fibra y vitaminas: aunque, paradójicamente su precio es mucho mayor (Cúneo y Ortega 2012, Molina-Rosell 2013).

Lo cierto es que la elaboración de PLG es un reto; ya que, la ausencia de gluten provoca que las masas carezcan de elasticidad y extensibilidad. A la vez, no retienen suficientes burbujas de aire y su textura tiende a ser desagradable. Es por esto que el uso de aditivos que imiten las características viscoelásticas del gluten es vital (Gallagher 2009, Schober 2009, Cappa *et al.* 2016).

Así, los primeros PLG se elaboraron a partir de combinaciones de almidones puros con algún tipo de hidrocoloide, posteriormente se desarrollaron fórmulas incorporando harinas de cereales libres de gluten (sorgo, maíz, arroz, soya), luego de pseudocereales (amaranto, sorgo, algarrobo, quínoa), leguminosas (garbanzos, frijoles, lentejas, maní), tubérculos (yuca) y sus mezclas; las cuales se conocen como harinas compuestas (Shobha *et al.* 2015).

A nivel de literatura se propone el uso de mezclas complejas de harinas, almidones, emulsificantes e hidrocoloides con proteínas de diferentes fuentes, fibras y enzimas con el fin de obtener panes con mejor calidad tecnológica, sensorial y nutricional (Marco y Rosell 2008a, 2008b, Schober 2009, Hüttner y Arendt 2010, Venugopal 2011, Houben *et al.* 2012, Matos 2013, Cappa *et al.* 2016). En Costa Rica se han desarrollado PLG con productos nacionales como el ñampí, tiquizque, yuca y arroz (Quirós 2013, Mora 2013).

D. La fibra dietética (FD)

En alimentos procesados, la problemática nutricional y de calidad se ha tratado de solventar a través de la incorporación de FD. Tecnológicamente esta confiere textura y capacidad de retención de agua, sirve de espesante y/o emulsionante; lo cual, ayuda a estabilizar algunas propiedades de productos tales como galletas, confitería, bebidas, salsas, postres y yogurt (Raghavendra *et al.* 2006, Víquez 2007, Saura-Calixto 2011, Mayorga 2013, Molina-Rosell 2013, Armijo 2014).

La FD consiste en una mezcla compleja de compuestos indigeribles que se encuentran en las plantas principalmente como material de su pared celular. La *American Association of Cereal Chemists* (AACC) define la FD como: las partes comestibles de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, con fermentación parcial o incompleta en el intestino grueso (AACC 2001, Slavin 2008, Tosh y Yada 2010).

La FD se clasifica en soluble e insoluble. La primera incluye los oligosacáridos, pectinas, β -glucanos y gomas de galactomanano y se encarga de regular los niveles de glucosa y colesterol en la sangre. Mientras que en la segunda, se encuentran la celulosa, hemicelulosa y la lignina, las cuales sirven principalmente para el tránsito intestinal (Tosh y Yada 2010). Cabe rescatar que, según los

métodos analíticos, se puede hacer referencia a la fibra cruda que excluye una parte de la fibra insoluble; por lo que, normalmente es menor que la FD total (Tosh y Yada 2010).

Debido a que la FD en los granos se ubica principalmente en el salvado y en el germen, se recomienda el consumo de cereales enteros (Ragaei *et al.* 2013). La FD ayuda a prevenir el cáncer gastrointestinal, la cual ejerce su efecto a través de dos mecanismos principales: (1) aumenta el volumen fecal, debido a su capacidad de retención de agua, reduciendo el tiempo de tránsito intestinal y limitando así, la interacción de posibles mutágenos fecales con el epitelio intestinal, lo que reduce la probabilidad de mutación celular y (2) la fermentación de la fibra por la microflora del colon para producir ácidos grasos de cadena corta como el butírico, el propiónico y el acético, los cuales disminuyen el pH intestinal y la solubilidad de los ácidos biliares, lo que conlleva a una concentración mayor de bifidobacterias y disminuye la presencia de *E. coli* y clostridia, promoviendo la salud intestinal (Pins *et al.* 2001, Tosh y Yada 2010, Awika 2011)

En relación con las enfermedades cardiovasculares, los cereales enteros son digeridos y absorbidos más lentamente, de manera que la respuesta a la insulina es menor y a su vez, se controla el perfil de lípidos en la sangre y se inhibe la biosíntesis de colesterol. Lo anterior, se explica porque la FD actúa como una barrera para las enzimas resultando en una digestión incompleta del almidón. Además, los granos no refinados contienen más cantidad de almidón resistente (tipo 1 que es el almidón físicamente inaccesible) que los refinados, lo cual promueve la saciedad y reduce la energía consumida (Tosh y Yada 2010, Awika 2011).

Con respecto a la respuesta glicémica (elevación de la glucosa plasmática tras el consumo de un alimento rico en carbohidratos en comparación con el pan blanco o una solución de glucosa), los alimentos de grano entero tienden a disminuirla gracias a la fibra y a los antioxidantes, la vitamina E y el magnesio que se encuentran en el salvado y el germen. Los anteriores contribuyen a la secreción de colecistoquinina (CCK) en el intestino delgado, una hormona que contribuye a la supresión del apetito, la disminución del vaciamiento gástrico y la inducción a la saciedad, lo que previene la obesidad y la diabetes tipo II. Sin embargo, cualquier procesamiento, como refinamiento, que disminuya el contenido de fibra soluble, da como resultado respuestas incrementadas de glucosa e insulina (Pins *et al.* 2001, Tosh y Yada 2010).

Por las razones anteriores, se recomienda la ingesta de >25 gramos de FD por día para adultos (WHO 2003); empero, es común que esta cifra no se alcance. De hecho, en Costa Rica los estudios indican que todos los grupos de edad tienen un bajo aporte de FD (entre 9 g – 19 g máximo), debido al consumo deficiente de frutas, vegetales y cereales; incluso se reporta que el consumo tradicional de frijoles ha decaído (Ulate 2006, Slavin 2008, Ministerio de Salud 2011, Venugopal 2011, Torres *et al.* 2015).

E. El maíz (*Zea mays* L. *ssp.* *Mays*)

i. Generalidades

Se reporta que el maíz es tercer cultivo de mayor producción e importancia en el mundo después del trigo y del arroz – otras veces se dice que el segundo – (Bolade *et al.* 2009, Shobha *et al.* 2014, Fernández-Muñoz *et al.* 2016, Nawaz *et al.* 2016). Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea, presenta las ventajas de poder ser cultivado en diversidad de ambientes, consumido durante las distintas etapas del desarrollo de la planta y aprovechado en formas más variadas (Lang *et al.* 2014).

En la actualidad, los principales países productores de maíz son Estados Unidos, China, Brasil y Argentina; sin embargo, su importancia como alimento humano es mayor en África y en América Central y del Sur (Lang *et al.* 2014, Fernández-Muñoz *et al.* 2016). Se estima que cerca del 40% y 85% del maíz producido en países tropicales y desarrollados respectivamente, es destinado para la alimentación avícola y porcina; ya que, proporciona la tasa más alta de conversión a carne y a huevos comparado con otros granos (Paliwal *et al.* 2001, OGTR 2008, Serratos 2009, Hernández-Soto *et al.* 2011, Campos-Granados y Arce-Vega 2016).

Para la industria, el maíz es la materia prima de muchos productos como plásticos, siropes, azúcares invertidos, alcohol y biocombustibles. Es la principal fuente de almidón producido en el mundo; además, de que con él se formulan alimentos como palomitas de maíz, polenta, tortillas, cereales para desayuno, meriendas, productos horneados, pastas, pudines, cervezas, entre muchos otros (White 2000, Paliwal *et al.* 2001, Shi *et al.* 2016).

Es importante destacar que la nixtamalización es un proceso al que se someten los granos de maíz para suavizar el grano, facilitar la remoción del pericarpio y la solubilización del endospermo. Además, provoca el aumento de la biodisponibilidad de la niacina y el contenido de calcio, mejorando así su valor nutricional, a la vez que reduce la presencia de aflatoxinas (Shobha *et al.* 2014).

Entre los beneficios que se encuentran tras el consumo del maíz se menciona que la tiamina ayuda a mantener la memoria; por lo tanto, a prevenir el Alzheimer. El folato, una buena fuente de vitamina B, ayuda a prevenir defectos de nacimiento. También ayuda a disminuir el nivel de homocisteína que tiene el potencial de dañar los vasos sanguíneos y evita la ocurrencia de cáncer de pulmón; ya que, es rico en β -criptoxantina (Krishna y Chandrasekaran 2012).

ii. Estructura del grano de maíz

La parte comestible de los cereales es llamada coloquialmente grano; al cual, botánicamente se le conoce como cariósido (Riahi y Ramaswamy 2003). En general, los cereales se componen de tres partes esenciales, el salvado (6% - 17%), el endospermo (80% - 85%) y el germen (2% - 14%), las cuales difieren en su composición química (Riahi y Ramaswamy 2003, Palka 2006, Ragaee *et al.* 2013, Junqueira *et al.* 2017).

El salvado rodea toda la cariósido y se subdivide en diferentes capas llamadas pericarpio, testa y aleurona (Palka 2006, Ragaee *et al.* 2013). Las células que lo constituyen son básicamente de hemicelulosa (67% - 70%) y celulosa (23%); las cuales representan cerca del 54% de la fibra dietética total del grano. El pericarpio es una pared externa formada por pequeños tubos muy comprimidos que se desarrolla desde la pared del ovario y envuelve el endospermo, su grosor depende del genotipo de cada grano y cumple una función protectora para evitar la invasión de hongos y la transferencia de humedad. Debajo de él, se encuentra la testa; la cual, rodea al embrión y se deriva de la pared interna del ovario, esta es permeable al agua; pero, no a las sales disueltas y es importante para la germinación. La aleurona contiene células de paredes gruesas que están libres de almidón, es rica en proteínas, minerales, enzimas y vitaminas; pero, normalmente se remueve durante la molienda del grano (Rajendran 2003, Riahi y Ramaswamy 2003, Junqueira *et al.* 2017).

El endospermo está compuesto de gránulos de almidón incrustados en una matriz proteica. Dichos gránulos se forman en los amiloplastos de las células y constituyen la principal reserva de energía del grano. Varían en tamaño de 5 a 25 μm de diámetro, con un diámetro medio de 11,6 μm y su forma tiende a ser redonda; aunque, conforme se acercan al germen adquieren forma poligonal. La amilopectina tiene una estructura cristalina de tipo racimo, mientras que la amilosa puede estar localizada tanto en regiones cristalinas como amorfas (White 2000, Riahi y Ramaswamy 2003, Palka 2006, Ragaee *et al.* 2013).

Por último, el germen se encuentra en la base del grano y está conformado por el embrión y el escutelo. El primero almacena los nutrientes y hormonas necesarios para la germinación del grano, es rico en lípidos, proteínas, vitaminas del complejo B, vitamina E y minerales, principalmente hierro; el segundo sirve de órgano nutritivo, es rico en tiamina y es la estructura que separa el germen del endospermo (Riahi y Ramaswamy 2003, Palka 2006, Ragaee *et al.* 2013).

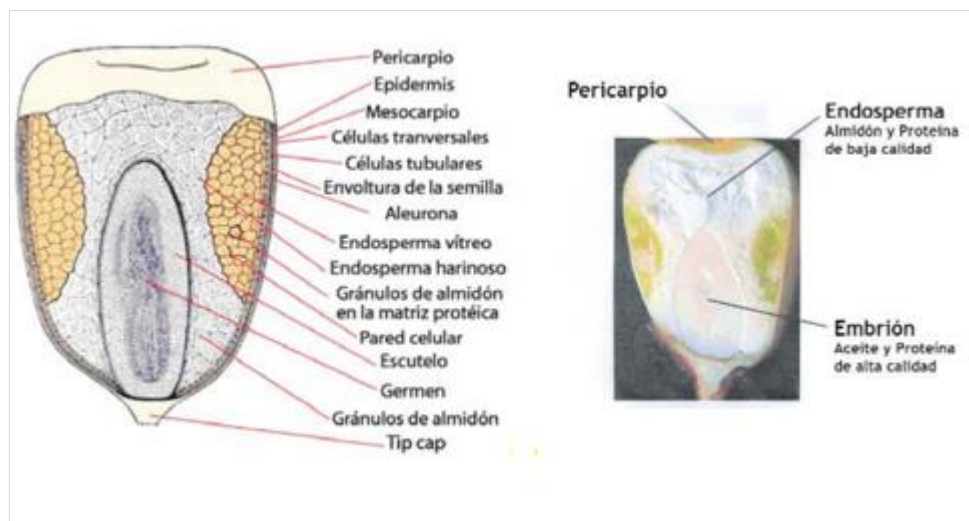


Figura 1. Ilustración de las partes anatómicas del grano de maíz

Fuente: Tomado de Edel y Rosell 2007 y ILSI 2006.

iii. Composición Química

En el Cuadro I se muestra una compilación de los datos reportados de los principales macronutrientes según las diferentes partes del grano. Donde se puede notar que el almidón se concentra en el endospermo y es la principal fuente de carbohidratos. Por el contrario, la fibra se ubica en el salvado; mientras que la proteína, la grasa y las cenizas abundan en el germen (Collado y Corke 2003).

Cuadro I. Composición química del maíz en base seca según las diferentes partes del grano

Macronutriente (g/100 g)	Salvado	Endospermo	Germen
Almidón	7,3	87,6	8,3
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Grasa*	1,0	0,8	33,2
Proteína	3,7	8,0	18,4

*Extracto etéreo

Fuente: Elaborado con base en FAO 1993, OGTR 2008, Grande y Orozco 2013, Sánchez 2014.

En relación con el almidón, en el Cuadro II se muestran las propiedades físicas y químicas del almidón de maíz y otros cereales para su comparación. Donde se puede notar que el tamaño del gránulo es intermedio, su rango de gelatinización es similar al del arroz y se compone en menor proporción de amilosa, a excepción del maíz alto en este componente.

Cuadro II. Propiedades físicas y químicas de almidones de diferentes fuentes.

Almidón	Tamaño del gránulo (μm)		Amilosa (%)	Rango de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)	Descripción
	Rango	Media			
Arroz	3 – 8	5	17	61 – 80	Poligonal
Avena	– 10	NR	27	56 – 62	Poligonal
Cebada	2 – 35	20	22	56 – 62	Redondo, elíptico, lenticular
Centeno	2 – 35	NR	23	57 – 70	Elíptico, lenticular
Maíz amiloso	NR	15	Hasta 80	85 – 87	Redondo
Maíz ceroso	5 – 25	15	1	63 – 74	Redondo
Maíz regular	5 – 25	15	26	62 – 80	Redondo, poligonal
Papa	15 - 100	33	22	56 – 69	Tipo huevo, con hendiduras
Sorgo	5 – 25	15	26	68 – 78	Redondo, poligonal
Trigo	2 – 35	15	25	53 – 72	Redondo, elíptico
Yuca	5 – 35	20	17	52 – 64	Redondo y truncado en el costado

NR: no reportado

Fuente: Adaptado de Collado y Corke 2003.

En cuanto a las proteínas del maíz, existen cuatro clases: globulina, albúmina, prolamina (zeína) y glutelina. Las glutelinas y las zeínas son las más abundantes y se concentran en el endospermo rodeando los gránulos de almidón (Izquierdo y Cirilo 2013); sin embargo, poseen poco valor nutricional debido a que son pobres en lisina y en triptófano. Se dice que el endospermo aporta más a la cantidad total de proteína (74%) porque es el mayor constituyente del grano; no obstante, la calidad de la proteína del germen es superior porque se conforma de albúminas y globulinas, las cuales cuentan con un buen balance de aminoácidos. De hecho, en muchos casos se considera un suplemento proteico natural para el endospermo. Por ejemplo, la calidad de la proteína medida por la eficiencia proteica (PER) de la harina desgrasada de germen fue 16 veces mayor que la harina de endospermo y tuvo mayor valor de digestibilidad (FAO 1993, Hernández *et al.* 1999a, 1999b, Paliwal *et al.* 2001, ILSI 2006, OGTR 2008, Torres *et al.* 2009, González y Aramburo 2011, Eyhéabide 2013, Sánchez 2014).

La distribución de los lípidos en el grano tampoco es uniforme, aunque se sitúan principalmente en el germen (15% - 45%). Se categorizan en almidonosos y no almidonosos. Los primeros, como los fosfolípidos y los galactolípidos, están unidos a gránulos de almidón; mientras que, los segundos consisten en acilgliceroles y ácidos grasos libres. Dentro de los ácidos grasos, los que más abundan son los insaturados (85%), principalmente el ácido oleico y el ácido linoleico, entre otros como el palmítico, el esteárico y el linolénico (Becker 2008, OGTR 2008, González y Aramburo 2011, Grande y Orozco 2013, Sánchez 2014).

Por otra parte, la fibra se concentra en el salvado e incluye hemicelulosas y celulosa, pentosanos y lignina; además, vitaminas del grupo B y cerca del 50% de los minerales del grano (Palka 2006, Ragae *et al.* 2013). Pese a que la fibra es muy beneficiosa para la salud, se reporta que es común que el salvado se elimine de los granos durante su procesamiento porque modifica las características sensoriales y tecnológicas de los productos finales (Hernández *et al.* 1999a, ILSI 2006, Grande y Orozco 2013, Campos-Granados y Arce-Vega 2016).

Cabe mencionar que en el maíz, además de los componentes mayoritarios, se pueden encontrar micronutrientes como vitamina B1 (tiamina), B5, folato, vitamina C, fósforo, manganeso y

compuestos bioactivos, como los carotenoides. Estos se localizan especialmente en el endospermo duro del grano y la vitamina E en el germen (Eyhérabide 2013, Sánchez 2014).

Por otra parte, también contiene factores antinutricionales, como compuestos fenólicos, flavonoides, taninos, antocianinas y fitoquímicos, los cuales, quelan iones metálicos como el hierro. No obstante, se reporta que también poseen propiedades antioxidantes debido a la presencia de grupos donadores de hidrógeno. Adicionalmente, el maíz contiene rafinosa que no es digerible y produce gases, así como micotoxinas y bacterias productoras de nitritos y dióxido de nitrógeno que podrían causar efectos tóxicos. De allí la importancia de controlar su calidad cuando forma parte de las materias primas (OGTR 2008, Krishna y Chandrasekaran 2012, Nawaz *et al.* 2016).

En el Cuadro III se muestra la composición de los macronutrientes de varios cereales, donde se puede destacar que el maíz se encuentra dentro de los que contienen mayor contenido de fibra dietética, de forma similar a la avena, el centeno, la cebada y el sorgo. Además, es alto en lípidos y posee mayor porcentaje de proteína que el arroz, el cual es de los más utilizados para elaborar productos libres de gluten.

Cuadro III. Composición química de diferentes cereales

Cereal	Carbo-Hidratos (%)	Cenizas (%)	Fibra dietética (%)	Lípidos (%)	Humedad (%)	Proteína (6,25 x N) (%)
Arroz	75,5 – 89,8	1,2 – 1,6	0,2 – 3,9	0,5 – 1,2	11,4 – 15,0	7,5
Avena	57,1 – 62,9	2,3 – 3,6	14,0	5,1	9,8 – 13,0	9,3 – 12,0
Cebada	66,0	2,7	10,0	2,1	10,6	13,0
Centeno	70,2	1,9	15,5	1,8	10,5	13,4
Maíz	70,5 – 72,2	1,2 – 1,8	15,0	1,1 – 9,4	13,8 – 15,0	6,6 – 12,0
Mijo	72,9 – 79,9	2,5	6,2 – 7,2	3,9 – 4,9	9,6 – 11,8	9,9 – 13,8
Sorgo	69,3 – 73,0	2 – 1,7	10,7	3,4	10,6 – 11,0	11,0 – 12,5
Trigo	68,5 – 78,9	1,2 – 3,0	3,2 – 12,0	1,5 – 2,5	10,0 – 15,0	9,8 – 19,3

*NR: no reportado

Fuente: Elaborado con base en Granito y Guerra 1997, Riahi y Ramaswamy 2003, Palka 2006, Becker 2008, Ferreras 2009, Charalampopoulos *et al.* 2009, Krishna y Chandrasekaran 2012, Hoyos y Palacios 2015, Joshi *et al.* 2015, Campos-Granados y Arce-Vega 2016.

iv. Procesamiento industrial del maíz

El procesamiento que se le aplica al grano de maíz depende del destino que se le dará al producto; pero, se destacan principalmente la molienda húmeda y la molienda seca. También se puede obtener aceite de germen por medio de ambas moliendas y por último, producción de bioetanol. En dichos tratamientos, el maíz es separado en sus tres estructuras anatómicas básicas (salvado, endospermo y germen) mediante el fraccionamiento físico de los granos usando diversas combinaciones de perlas, molienda, tamizado y clasificación con aire (Barbosa-Canovas y Yan 2003, Charalampopoulos *et al.* 2009, Izquierdo y Cirilo 2013, Sánchez 2014).

La molienda de los granos inició con el uso de los metates; pero, pronto evolucionó con la introducción del molinillo de mano (“*quern*” en inglés), un pequeño triturador de piedra quemado inventado aparentemente en la antigua Roma. Los molinillos de mano consistían en un par de piedras, una estática y otra móvil, con tapa y un agujero. Luego, este principio se aplicó a escala comercial, donde la energía para operar el molino era suministrada por ganado, seres humanos, torres de viento y más a menudo, por el agua. Sin embargo, la harina de maíz entera molida se volvía rancia rápidamente; por lo que, a principios de los años 1900, se crearon los desgerminadores. Estos permitieron la producción de harina baja en grasa con buena estabilidad lo cual impulsó la molienda a gran escala (Serna-Saldivar *et al.* 2001).

a. *Molienda húmeda (MH)*

El objetivo principal de la molienda húmeda (MH) consiste en producir almidón puro, entre otros derivados como: endulzantes, dextrosa, fructosa, glucosa, fibras, etanol y aceite de maíz (Paliwal *et al.* 2001). La MH permite extraer del germen 45% - 56% de aceite (Becker, 2007). Otro de los productos de la MH, es el llamado alimento *gluten de maíz* (AGM), término utilizado erróneamente; ya que, el maíz no contiene gluten (Scherf y Köhler 2016).

En realidad, el AGM consiste en la materia restante alta en proteína, luego de extraer el almidón, el germen y el salvado durante el proceso de extracción de almidón o del tratamiento enzimático del endospermo. El AGM se debería conocer como alimento de proteína de maíz y se utiliza como

alimento para animales debido a su alto contenido de proteína cruda (61% aproximadamente) y poca fibra cruda (cerca de 2,8%) (Weigel *et al.* 2007, Ji *et al.* 2012, Hernández-Soto *et al.* 2011).

b. Molienda en seco (MS)

La MS tiene como objetivo principal obtener una serie de harinas de distinto grosor, afrecho y germen, para elaborar productos variados y es la más utilizada cuando se desea producir harinas enteras. Además, sirve para recuperar el máximo porcentaje de germen limpio con mayor tamaño de partícula y de él se obtiene aproximadamente 18% de aceite (Serna-Saldivar *et al.* 2001, ILSI 2006, Becker 2008, Ragaee *et al.* 2013). El principal producto de la MS es la sémola (*large grits*); pero, también se obtiene semolina, germen, pericarpio y finos. La sémola se utiliza más que todo para la elaboración de cereales y barras energéticas; mientras que los demás se destinan a la industria cervecera, elaboración de harina o alimento animal, como se detalla en el Cuadro IV (Li *et al.* 2017).

A manera de resumen, la MS incluye las siguientes operaciones; las cuales, también pueden variar de una industria a otra:

- 1. Limpieza.** De forma similar a la MH se puede realizar por combinación con tamizado, aspiración, lavado en agua, separación electrostática, entre otros métodos.
- 2. Templado.** Esta operación es opcional. En ella el maíz se acondiciona a 20% - 23% de humedad y se coloca en un recipiente de 1 a 3 horas con el fin de endurecer el germen y el salvado para facilitar las separaciones posteriores (Serna-Saldivar *et al.* 2001).
- 3. Molienda o desgerminación.** Esta operación se puede llevar a cabo con muelas, una máquina *Beall* con rodillos de trituración y cribas, o con máquinas de impacto como el *Entoleter* o el *Turbocrusher*. Normalmente, lo primero que se lleva a cabo es el descascarillado para remover la cascarilla del grano. Luego, el impacto hace que el germen se desprenda debido a su elasticidad y a la fragilidad de la parte vítrea del grano (Molinarés 2002). Se utilizan molinos de rodillos con estrías, las cuales son cortes de sierra a lo largo del rodillo en forma de espiral. El número de estrías puede variar de 10 a 12 en el primer rodillo hasta 28 a 32 en el cuarto o quinto rodillo. Los rodillos giran en sentidos opuestos y normalmente a velocidades distintas, uno gira dos veces y media más rápido que el otro. Cuando una partícula pasa por el espacio estrecho

entre los dos rodillos, se genera una fuerza de compresión y otra de corte a causa de la velocidad diferencial; en otras palabras, el rodillo lento retiene el material mientras está siendo raspado por el rápido. De esta manera, se obtienen distintos productos que se clasifican en: granos de maíz partidos, escamas, sémolas gruesas, sémolas normales, harina de maíz, conos y harina fina de maíz. Los anteriores se diferencian según su tamaño de partícula (FAO 1993, Molinares 2002, Bolade 2009, Barrera *et al.* 2012).

- 4. Tamizaje.** Tras cada molienda, las distintas fracciones de maíz se clasifican sobre tamices y purificadores, los cuales consisten en tamices inclinados que separan las piezas de germen y salvado de las partículas de endospermo por gravedad, estos pueden acoplarse a corrientes de aire ascendentes para promover la eliminación de partículas ligeras de salvado (Serna-Saldivar *et al.* 2001, Molinares 2002). De forma similar que en la MH, el germen puede ser aprovechado para la extracción de aceite y la producción de harina desgrasada de germen de maíz. Cabe rescatar que existen algunos procesos de molienda llamados “*full-fat*” donde el germen no se elimina (OGTR 2008).

En el Cuadro IV se muestra una clasificación general de los distintos productos que se obtienen tras la MS con su tamaño de partícula y aplicación respectivos; sin embargo, es importante mencionar que no existe una nomenclatura universal para definir estos productos. Además, no se debe confundir los términos “*maize flour*” con “*corn flour*” en el inglés; pues, este último se utiliza en el Reino Unido para hacer referencia al almidón obtenido de la molienda húmeda (Rosentrater y Evers 2018).

Cuadro IV. Clasificación general de los productos de la molienda seca del maíz y sus usos

Producto	Intervalo de tamaño (μm)	Porcentaje (%)	Uso
Copos de sémola o maíz quebrado (<i>flaking grits</i>)	3360 – 5660	12	Producción de cereales de desayuno
Sémola gruesa o fractura gruesa (<i>coarse grits</i>)	1410 – 2000	15	Producción de <i>snacks</i> , cereales de desayuno, como carbohidratos fermentables para la industria cervecera
Granos cerveceros (<i>brewers grits</i>)	590 – 1680	30	Vida útil larga, cereales en mezcla
Sémola regular (<i>regular grits</i>)	638 – 1410	23	
Harina gruesa o sémola fina (<i>Coarse meal</i>)	297 – 638	3	Para mezclas de quequitos, donas, panes, aglutinante para carnes, meriendas, formulación de aditivos.
Comida fina o semolina (<i>fine meal</i>)	177 – 297	7	
Harina (<i>flour</i>)	Plato - 194	4	
Germen	>400	1	Producción de aceite de maíz
Desechos y merma	NA	Aprox. 30	Alimentación animal o desecho

NA: no aplica

Fuente: Elaborado con base en Serna-Saldivar *et al.* 2001, Barbosa-Canovas y Yan 2003, Ferreras Charro 2009, Malumba *et al.* 2015.

c. Efectos de la Molienda

Entre los efectos negativos más evidentes de la molienda se destaca la disminución de los componentes promotores de la salud presentes en los granos, tales como minerales, vitaminas, fibra, antioxidantes y fitoquímicos; a pesar, de que estos podrían aportar valor agregado como ingredientes tecnológicos a diferentes formulaciones (Krishna y Chandrasekaran 2012, Ragaee *et al.* 2013).

Para contrarrestar los resultados poco favorables de la presencia de salvado en la calidad de algunos productos, se ha diseñado el método *Pearling*, el cual involucra la aplicación de tecnologías de abrasión y fricción para eliminar eficazmente sólo las capas externas del salvado conservando la aleurona en los granos. Además, este procedimiento, tiene la ventaja de mejorar los rendimientos de la molienda posterior; ya que, influye en la forma en que los granos de cereal se rompen y mejora la calidad y la funcionalidad de la harina (Ragaee *et al.* 2013).

Por otra parte, existen otros efectos menos notorios que suceden a nivel molecular y estructural en los granos, como es la formación de almidón dañado. Este se genera porque los gránulos de almidón son lesionados durante la molienda como consecuencia del calor producido por la fricción

y a la energía mecánica aplicada. La intensidad del daño depende principalmente de la fuerza de la molienda y de la dureza del grano.

El almidón dañado modifica la capacidad de hidratación; ya que, absorbe el 100% de su peso en agua debido a que presenta enlaces hidrofílicos expuestos en mayor área superficial. También promueve la capacidad de hinchamiento y la formación de geles debido a la destrucción de las fuerzas que evitan que los gránulos se hinchen naturalmente en agua (Barrera *et al.* 2012, Mandala y Rosell 2015, Dayakar *et al.* 2016). En productos horneados se sabe que la molienda y la distribución de tamaño de partícula, afectan las características de los productos finales (Bolade *et al.* 2009, Shi *et al.* 2016).

Además, la molienda promueve la oxidación y la actividad enzimática en el maíz. Lo que sucede es que, en el grano intacto, el aceite está compartimentado y no disponible para las enzimas; pero, dicha operación rompe las células, mezcla el contenido celular y se inicia la degradación autolítica, hidrolítica y oxidativa. En contraparte, a mayor tamaño de partícula, la velocidad de hidrólisis disminuye debido al efecto de difusión de las enzimas a través de las partículas (Mandala y Rosell 2015).

v. Estabilidad del maíz y sus productos derivados

El grano de maíz se considera un producto estable debido a que contiene entre 10% - 12% de humedad, lo cual controla el deterioro microbiológico, la decoloración y el desarrollo de olores indeseables durante el almacenamiento. Se estima que tiene una vida útil que ronda los cuatro a seis meses (FAO 1993, MAG 2007, Ragaee *et al.* 2013). Existen reportes que indican que el maíz entero se puede almacenar por dos o más años en graneros mientras que se controle su temperatura y humedad para evitar la contaminación con micotoxinas; sin embargo, el factor de deterioro más evidente consiste en la formación de ácidos grasos libres debido a la peroxidación lipídica del grano (Yin *et al.* 2017).

La oxidación puede ser de naturaleza química o enzimática y se propicia durante la molienda como se mencionó anteriormente. Por esto, es común que el germen, rico en aceite, se elimine de la harina de maíz (Molinares 2002, Krishna y Chandrasekaran 2012). Sin embargo, si las enzimas se

inactivan, el aceite no se degrada tan rápidamente. En la actualidad, dicha estabilización se ha logrado con tecnologías como lo es la cocción por extrusión (Becker 2008).

Las enzimas responsables de la catálisis de lípidos son la lipoxidasa y la lipasa. La primera cataliza la lipólisis de ácidos grasos libres y monoglicéridos. La segunda, cataliza la hidrólisis de triacilglicéridos a diglicéridos, estos a monoglicéridos y posteriormente a ácidos grasos libres y glicerol. En la avena es común la estabilización de la lipasa por un proceso de aplicación de vapor (Rosentrater y Evers 2018).

Curiosamente, existen estudios que señalan que el aceite de maíz es resistente a los efectos oxidantes debido a su bajo nivel de ácido linolénico y a la presencia de antioxidantes naturales como los tocoferoles y tocotrienoles. Estos son llamados cromanoles, se encuentran en las membranas celulares del germen y del salvado y protegen los granos de los radicales libres y del estrés oxidativo. De hecho, se dice que una molécula de tocoferol puede proteger cerca de cien moléculas de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) a bajos niveles de peróxidos; por esta razón, es que son utilizados comúnmente como antioxidantes en algunos productos (Riahi y Ramaswamy 2003, Przybylski 2006, Becker 2008, González y Aramburo 2011).

De los aceites comerciales, el aceite de maíz es el que contiene más concentración de cromanoles, seguido del aceite de soja, palma, semilla de algodón, girasol, colza, maní, oliva, entre otros. Sin embargo, dichos cromanoles son sensibles a la irradiación, a la extrusión, al vapor, al autoclavado y al secado en tambor (Lampi *et al.* 2002). Ragaee *et al.* (2013), explican que el procesamiento térmico puede ayudar a liberar ácidos fenólicos a través de la descomposición de constituyentes y paredes celulares, seguido de algunas reacciones de polimerización y/u oxidación y la formación de compuestos fenólicos distintos de los endógenos en los granos.

Por eso, para minimizar la rancidez oxidativa, es indispensable excluir la luz, controlar la cantidad de producto y utilizar material con barrera contra el oxígeno; aunque, se reporta que cierta transferencia de este gas permite que los olores rancios que se van desarrollando se puedan escapar tan pronto como se forman; por lo cual, es común el uso de empaques sin revestimientos interiores o exteriores y no totalmente herméticos (Min *et al.* 2009). Como recomendaciones para la conservación de la harina de maíz y sus productos derivados, se destaca el uso de materiales de

empaque de polietileno de alta densidad (HDPE) normal o coextruido con copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA), polipropileno (PP), PP laminado y poliéster metalizado de aluminio (Min *et al.* 2009, Dayakar Rao *et al.* 2016, Bashir *et al.* 2017). Por su parte, Shobha *et al.* (2014), encontraron que las bolsas de LDPE permiten almacenar la harina de maíz en buenas condiciones hasta por tres meses; en comparación las cajas de plástico, en las que duró dos meses.

Por otra parte, dentro de los contaminantes más comunes del maíz se pueden mencionar los hongos como *Fusarium verticilloides* y *Fusarium proliferatum*, los cuales producen metabolitos secundarios tóxicos llamados fumonisinas. Estas son estables al calor inclusive al someterlas a horneado a 250 °C (Bryla *et al.* 2017). También se señalan las micotoxinas, metabolitos secundarios del micelio de los hongos, como contaminantes tóxicos de los cereales y las responsables de pérdidas millonarias de dichos productos. Entre ellas se destacan la zearalenona (ZEN), un compuesto estrogénico y la ocratoxina (OTA), clasificado un como posible carcinógeno humano (Grupo 2B) (Luo *et al.* 2017).

vi. Situación del maíz en Costa Rica

En Costa Rica se produce únicamente maíz blanco y su rendimiento es bajo en comparación con los países exportadores. La producción se concentra en la región sur del país en los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires, Palmar Norte y Coto Brus con un aporte del 94% del total (Loría *et al.* s.f., Mora 2012, IICA *et al.* 2014, Elizondo 2017).

Se siembran aproximadamente 1500 hectáreas con un volumen de producción de 4500 toneladas métricas, mientras que las importaciones de este alimento rondaron las 35 000 toneladas métricas desde el 2014 (Elizondo 2017); es decir, el nivel de producción nacional de dicho grano no es suficiente para hacer frente a su consumo. Lo mismo se evidencia por su bajo índice de suficiencia (39,4%), el cual es el menor de Centroamérica (IICA *et al.* 2014) y se importa principalmente desde Guatemala (43,6%), Estados Unidos (33,6%) y México (21,6%) (Retana *et al.* 2014).

La industria de maíz produce cerca de trece tipos de harina en diferentes presentaciones y bocadillos o “snacks” (MAG 2007). Los productores se organizan en asociaciones llamadas ASOPROS, quienes acopian y comercializan la mayor parte de la producción de las zonas. En cuanto

a las empresas, se encuentran cuatro registradas; a saber, DEMASA S.A., Insta Masa S.A., CCA S.A. y La Maquila Lama S.A. De ellas, las primeras dos prácticamente concentran más del 97% de las importaciones y la comercialización nacional del grano (IICA *et al.* 2014).

En cuanto a su consumo, para el 2011 se estimó en 9 Kg – 11 Kg por persona por año, el menor promedio de Centroamérica, debido a un incremento en el consumo de trigo y de arroz (IICA *et al.* 2014). Retana *et al.* (2014), explican que lo anterior se debe a un desestímulo provocado por la crisis de competitividad que existe entre productores nacionales y externos.

F. El arroz (*Oryza sativa* L.)

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los alimentos básicos del mundo. Una vez maduro se cosecha como un grano cubierto, en el que la cariósida está encerrada en una cáscara compuesta principalmente de sílice que le brinda protección. Esta se divide en dos hojas modificadas: la palea y la lemma (más grande). De forma similar a la estructura del grano de maíz, se encuentra otra cubierta de tres capas que rodea el endospermo y el germen, la cual se conforma de células aplastadas que varían en grosor (Singh *et al.* 2014).

El endospermo se compone básicamente de almidón en forma de gránulos poligonales y proteínas como la gluteína (80% de la proteína total) y algo de prolamina. Los lípidos en el arroz se localizan en el salvado en forma de esferosomas, entre los que se encuentran ácidos grasos insaturados como el ácido oleico, linoleico y palmítico. En el salvado también existen vitaminas y minerales como fósforo, potasio, magnesio, calcio, sodio, hierro y zinc (Singh *et al.* 2014). El embrión o germen es muy pequeño y está situado en el lado central de la base del grano (Riahi y Ramaswamy 2003).

Se destacan dos tipos principales de arroz, conocidos como *japonica* e *indica*. El primero se produce mayormente Japón, es redondo, no se rompe fácilmente y tras la cocción resulta pegajoso y húmedo. El segundo, proviene del sur de Asia de países como India, Tailandia, Vietnam y el sur de China. Su forma es alargada, se rompe fácilmente y cuando se cocina es esponjoso y no se adhiere entre sí (Lang *et al.* 2014)

Durante el procesamiento del arroz, la cáscara se retira de los granos por chorros de aire y se obtiene el arroz integral. Las capas restantes de salvado y germen se separan por la acción de frotamiento con rodillos acanalados quedando libre el endospermo, el cual se pule hasta quedar blanco brillante. El arroz molido contiene de 7,3% a 8,3% de proteína, alrededor de 90% de almidón y muy bajo contenido de lípidos, cenizas y fibra (Lu y Lin 2001, Krishna y Chandrasekaran 2012, Lang *et al.* 2014, Burešová *et al.* 2017).

Se calcula que el 30% de la harina de arroz se utiliza para producir *noodles*; aunque en la actualidad, ha tomado auge como la harina preferida para la elaboración de PLG debido a su color blanco, sabor suave, propiedades hipoalergénicas bajas y fácil digestión (Lu y Lin 2001, Matos 2013, Burešová *et al.* 2017). Aunado a lo anterior, se ha estudiado que reduce la resistencia a la fractura y aumenta la crujencia de productos (Molina-Rosell 2013, Singh *et al.* 2014).

G. La Yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

La yuca es un producto que se obtiene de la raíz de la planta de casava (*Manihot esculenta*) y es nativa de las regiones tropicales y subtropicales. Se le llama con nombres variados entre ellos: casava, mandioca, tapioca y guacamota. Es la segunda fuente de almidón que se produce en el mundo, después del maíz; por lo que, es de gran importancia para la industria. Además, es la tercer fuente calórica más consumida en los trópicos después del arroz y del maíz hasta llegar a considerarse el “pan de los trópicos” (Morante *et al.* 2016, Simitchiev *et al.* 2016).

Su origen se remonta a regiones del noreste, suroeste y centro de Brasil y México, a partir de donde se extendió a las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Tiene la particularidad de crecer en suelos aun con baja disponibilidad de nutrientes y en condiciones de sequía. Su composición ronda el 64% - 72% de carbohidratos, 0,5% de grasa, 2% de fibra, 1% - 2% de proteínas con un perfil de aminoácidos alto en lisina y treonina; así como minerales (calcio, potasio, hierro y zinc) y vitamina C (15 - 45 mg/ 100 g) (Simitchiev *et al.* 2016, Milde *et al.* 2009).

H. Productos Horneados: Galletas, Pan y sus Ingredientes

Las galletas son elaboradas de harinas débiles y suaves, se caracterizan por tener alto contenido de azúcar y grasa y poca cantidad de agua (Indrani y Rao 2008). En su versión con harina de trigo requieren de bajo contenido de proteínas y gluten (entre 8% y 9%); por lo que, la red que se forma con él no es vital. No obstante, la cantidad de grasa, almidón y azúcar que se adiciona, les proporciona la plasticidad y cohesividad necesaria para manipular la masa (Esra 2007, Molina-Rosell 2013). Existen múltiples tipos de galletas entre las cuales se pueden mencionar las saladas, las dulces, tipo wáfer, con relleno, recubiertas, entre otras (Hernández-Monzón *et al.* 2014, Alegre y Asmat 2016).

Por otro lado, el pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla básica de harina, sal y agua, fermentada con levadura. Para prepararlo, la harina debe poseer mayor cantidad de proteínas (superior a un 10%) y la formación de la red de gluten es indispensable para obtener una masa tenaz, resistente, con buena extensibilidad y adecuada retención de gas; o bien, se debe recurrir al uso de aditivos para lograr dichas características (Molina-Rosell 2013).

Se puede enumerar una gran variedad de panes dentro de los cuales se encuentra el pan del molde. Este se caracteriza por poseer una corteza blanda y porque se emplean moldes durante su cocción (Mesas y Alegre 2002). La mayoría de los panes libres de gluten se fabrican con un elevado contenido de agua; por lo que, sus masas son muy fluidas y requieren tiempos cortos de amasado y fermentación (Molina-Rosell 2013).

I. Tamaño de partícula (TP)

El tamaño de partícula (TP) es una de las propiedades esenciales de los productos en polvo porque se utiliza como parámetro de control en operaciones como la molienda, mezclado, hidratación, extrusión, entre otras. Además, permite clasificar una harina madre en distintas fracciones y en los productos que se elaboran con ellos, tiene relación con su apariencia y aceptación (Barbosa-Canovas y Yan 2003).

Dependiendo de la forma de la partícula (esférica, cónica, cúbica o irregular) se puede medir más de una dimensión; sin embargo, el diámetro es la más utilizada y se puede determinar haciendo pasar las partículas a través de una malla con aperturas de diferente longitud en un instrumento que se denomina tamiz (Barbosa-Canovas y Yan 2003). El TP se calcula como el promedio de la apertura del tamiz anterior y el adyacente, obteniendo el *diámetro medio de partícula* (D_p), el cual normalmente se expresa en milímetros o micrómetros.

La distribución del TP de una harina depende de varios factores como: el tipo de molino que se utilice (los molinos de martillos producen harinas muy finas, mientras que los de abrasión partículas más gruesas), el tipo de molienda ya sea húmeda o seca (se ha visto que la molienda húmeda produce harina con menor TP), la genética del grano y las condiciones ambientales a las que se encuentre (Lu y Lin 2001, Bolade 2009, Mandala y Rosell 2015).

El TP de las harinas no sólo repercute sobre sus propiedades físicas; sino también, sobre las de los alimentos que se elaboren con ellas. Por ejemplo, algunos estudios reportan que a menor TP, aumenta el contenido de proteína y de almidón dañado, lo que conlleva a una mayor absorción de agua. También, el color de los productos horneados se ha llegado a percibir como más blanco a menor TP debido a una mejor reflexión de la luz. A nivel hormonal se reporta una mayor elevación de la insulina tras el consumo de harinas muy refinadas. Finalmente, durante su procesamiento, se obtienen harinas de menor TP cuando la dureza del grano es poca (Barbosa-Canovas y Yan 2003, Mandala y Rosell 2015, Shi *et al.* 2016).

Para representar la distribución del TP existen las tablas, las curvas acumulativas de frecuencias, las curvas de fracción relativa porcentual y las funciones matemáticas según la distribución estadística (que puede ser normal, logarítmica, entre otras) (Barbosa-Canovas y Yan 2003). En la presente investigación se utilizaron las curvas de fracción relativa porque permiten comparar distintas curvas de forma sencilla y determinar la homogeneidad de una muestra.

Como se ilustra en la Figura 2, el eje X representa el TP y el eje Y la fracción relativa; por lo que, el área bajo la curva debe ser igual 1. En muestras homogéneas se observará una campana estrecha, típica de una distribución normal; sin embargo, podrían existir otro tipo de curvas o una distribución con más de una campana o con una campana muy extendida indicando que el TP de la muestra es heterogéneo (Barbosa-Canovas y Yan 2003).

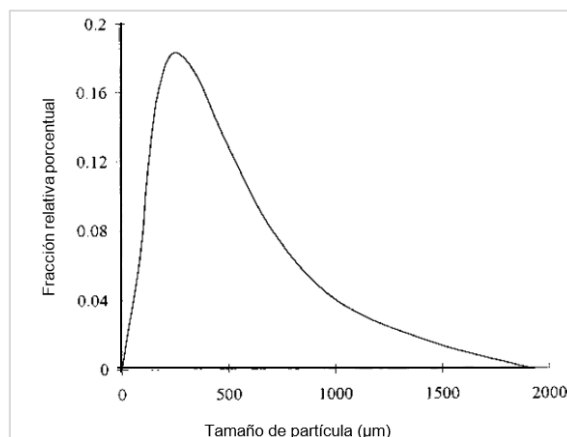


Figura 2. Curva de fracción relativa porcentual
Fuente: Adaptado de Barbosa-Cánovas y Yan, 2003.

J. Propiedades tecnológicas

Las propiedades tecnológicas, también llamadas capacidades tecnológicas o funcionales, se definen como cualquier propiedad de un alimento o ingrediente que pueda afectar el comportamiento de una matriz alimentaria como su reología o sus cualidades sensoriales. Son el conjunto de respuestas de los materiales frente a fuerzas específicas (Boatella 2004) y son de importancia porque indican el tipo de productos a los cuales se podría incorporar cierta materia prima y permiten predecir los efectos que se generarían tras cambios en las formulaciones de los productos o en los procesos (por ejemplo, en el mezclado, amasado, entre otros) (Armijo 2014, Shobha *et al.* 2014, Miquilena *et al.* 2016).

Las propiedades tecnológicas dependen más que todo de los componentes complejos como las proteínas, el almidón y la fibra; pero también, de su peso molecular, composición, estructura, carga electrostática, hidrofobicidad, distribución de tamaño-forma y de la presencia de otros componentes como los lípidos (Lu y Lin 2001, Boatella 2004, Lang *et al.* 2014, Miquilena *et al.* 2016).

Por esto, cabe rescatar que las propiedades tecnológicas son específicas para cada harina; ya que, dependen de las condiciones y tiempo de almacenamiento, del método de molienda y de las operaciones previas a las que sean sometidos los granos (Lu y Lin 2001). Asimismo, muchos de los métodos y términos utilizados para determinarlas se desarrollaron hace algunas décadas y

subsecuentemente se han ido modificando o se utilizan indistintamente; por lo cual, existe una gran diversidad de metodologías que conlleva a que la comparación de datos no sea conveniente; por esto, más adelante se describe la definición y terminología aplicada para cada una (Tosh y Yada 2010).

i. Capacidad de Absorción de Aceite (CAA)

La CAA expresa la cantidad de aceite retenida por 100 g o por gramo de muestra. En la literatura se puede encontrar con diferentes nombres como lo son capacidad de retención/absorción de aceite/grasa (Tosh y Yada 2010). En este trabajo se utilizará el término *capacidad de absorción de aceite* debido a las fuerzas que la explican y por el tipo de lípido utilizado para su determinación (aceite y no grasa). Se puede explicar por la habilidad de los lípidos para unirse a las macromoléculas por atracción capilar (atrapamiento físico) o por enlaces no covalentes (fuerzas electrostáticas y puentes de hidrógeno). Por lo tanto, la CAA incrementa con la porosidad de las fibras y a mayor cantidad de cadenas no polares en las harinas (Lamus y Barrera-Arellano 2005, Venugopal 2011, Shuang-kui *et al.* 2014, Kolawole y Akinpelu S 2015, Julianti *et al.* 2017).

Es de importancia porque la grasa actúa como retenedor de sabor y aromas e incrementa la palatabilidad (mejor sensación bucal debido a la fusión de materias grasas) de los alimentos (Tosh y Yada 2010, Miquilena *et al.* 2016). Una mayor CAA podría extender la vida útil de productos horneados; así como, aumentar el rendimiento de productos mediante la prevención de las pérdidas por cocción. Además, a nivel de salud, podría favorecer la absorción de los ácidos biliares y así, incrementar su excreción reduciendo el colesterol del plasma (Raghavendra *et al.* 2006, Shobha *et al.* 2014, Dayakar *et al.* 2016, Miquilena *et al.* 2016).

ii. Capacidad de hidratación

Para definir la capacidad de hidratación de los componentes alimentarios, existen diferentes términos; por lo que, a continuación, se citan los nombres más comunes que se utilizan en la literatura y la definición más apropiada para cada caso.

- **Adsorción de agua:** hace referencia a la atracción de humedad de forma espontánea cuando un alimento se coloca en una atmósfera con un porcentaje de humedad relativa mayor a la

que posee (Pincioli 2010). Implica la acumulación de agua en la superficie o interfase del alimento. Se diferencia de la absorción porque esta es un proceso por el cual las moléculas de agua penetran el alimento (Weber y Borchardt 1979, Muñoz y Grau 2013).

- **Absorción de agua:** es la cantidad máxima de agua que un material puede absorber e implica la cinética del movimiento del agua en ausencia de fuerzas externas o en determinadas condiciones como la gravedad, presión atmosférica, diálisis o centrifugación a baja velocidad (menos de 2000 gravedades). En inglés se puede encontrar como descrita como *water holding/binding capacity* o *water uptake*. Para su determinación se utiliza solo la cantidad de agua necesaria para saturar la muestra (AACC 1999, Tosh y Yada 2010) y se calcula como la razón de la cantidad de agua absorbida entre el peso del residuo seco (Raghavendra *et al.* 2006, Shobha *et al.* 2014). En esta, el proceso de absorción ocurre como en una esponja; ya que, el agua rellena los intersticios de los polisacáridos y se embebe en ellos (Mayorga 2013).

- **Retención de agua:** es similar a la absorción de agua. Se define como la cantidad de agua que retiene un material bajo condiciones específicas y una fuerza externa como presión o centrifugación, en condiciones controladas de tiempo y temperatura (Tosh y Yada 2010). Se calcula como la razón del agua retenida entre el peso inicial del residuo seco (Mayorga 2013).

La capacidad de retención de agua (CRA) es la que se determinará en este trabajo utilizando la metodología con centrifugación debido a que simula la fuerza mecánica durante el proceso de mezclado y amasado en la elaboración de productos horneados (Armijo 2014). Además, el sedimento final no se secó; ya que, se intentó simular el proceso de hidratación de harinas para formar las masas con consistencia apropiada de forma similar al procedimiento utilizado por Flores-Farías *et al.* (2002).

En la literatura también se encuentra definida la capacidad de enlazamiento de agua (*water binding capacity*), como una medida de la fuerza del enlace en el almidón intergranular. Cuando dicha fuerza es poca, los polímeros están unidos entre sí débilmente; por lo que, se da paso a una mayor unión con el agua. Mientras que, cuando la fuerza es alta, los gránulos están tan acoplados entre sí, que solo una poca cantidad de agua los puede penetrar. Su determinación difiere de la capacidad de retención y de absorción porque incluye un calentamiento de la muestra a 90 °C para

hinchar los gránulos de almidón y posteriormente la muestra se centrifuga (Dayakar *et al.* 2016, Geerts *et al.* 2017).

En general, la hidratación de un alimento se debe a los componentes hidrofílicos presentes en él, como lo son los aminoácidos polares de las proteínas, el almidón y otros como los polisacáridos como la fibra dietética (Miquilena *et al.* 2016). Además, depende del área superficial, tamaño de partícula, ambiente químico y del procesamiento previo de las harinas (Tosh y Yada 2010). De esta manera, cuando una harina es alta en polisacáridos se espera una alta hidratación (Shobha *et al.* 2014).

Se reporta que la hidratación aumenta conforme disminuye el tamaño de partícula, debido a una mayor área superficial expuesta para el enlace con moléculas de agua; por esta razón, es que el almidón dañado absorbe más agua que el que se encuentra intacto (Dayakar *et al.* 2016). También a mayor cantidad de proteína aumenta la hidratación (Rodríguez 2014).

Su importancia en alimentos es amplia y se indican algunas razones a continuación (Miquilena *et al.* 2016):

- Define las características de cocción. Por ejemplo, en leguminosas a mayor absorción de agua, más fácil es la separación de las células en los cotiledones, lo cual favorece el procesamiento térmico.
- En productos cárnicos confiere consistencia, viscosidad y mayor adhesión.
- Es deseable en masas; ya que, embeben agua sin absorber las proteínas.
- Aumenta la cohesividad de los alimentos listos para consumo.
- Mantiene una textura suave en productos como pastas y galletas.

iii. Capacidad de formación de espuma (CFE) y Estabilidad de la Espuma (EE)

La espuma es una dispersión inmiscible de partículas discretas de aire en un medio continuo. En alimentos, las burbujas de aire son elementos estructurales de espumas sólidas (pan, pasteles y merengue), semisólidas (crema batida, mayonesa) o líquidas (batidos); las cuales, afectan la textura y la firmeza (producto más ligero y suave), el color, el sabor y la sensación bucal de las matrices

alimentarias (mayor facilidad de masticación y accesibilidad enzimática al sustrato); además, disminuye la carga calórica de los productos (Venugopal 2011).

La CFE y la EE dependen principalmente de la superficie interfacial que se forma por las proteínas y los carbohidratos, la cual mantiene las burbujas de aire en suspensión y disminuye la tasa de coalescencia (Shuang-kui *et al.* 2014). Miquilena *et al.* (2016), indican que la configuración de las proteínas afecta la CFE; así que, si esta es globular se puede esperar una baja CFE debido a que no son capaces de reducir la tensión superficial de la interfase aire-agua. Las harinas con alta CFE y buena EE, son recomendadas para la elaboración de productos de repostería y confitería (Miquilena *et al.* 2016).

iv. Densidad *bulk* (ρ_b)

La densidad se define como la masa que ocupa una sustancia en una unidad de volumen, en el caso de la ρ_b se incluye el volumen de las partículas y los espacios disponibles entre ellas. Se determina dividiendo el peso neto del producto entre el volumen que ocupa en un recipiente; pero, se debe tomar en cuenta que las harinas y los productos particulados son compresibles, y por esto, la ρ_b se puede dar con especificaciones adicionales como:

- ρ_b suelta (*loose*): después de verter el polvo sobre una superficie
- ρ_b remecida (*tapped*): después de aplicarle vibración o golpeteo ligero al polvo
- ρ_b compactada (*compacted*): después de aplicarle una fuerza de compresión al polvo (Barbosa-Canovas y Yan 2003).

Su determinación es útil para la clasificación, almacenamiento, transporte y mercadeo de productos particulados; ya que, si existen diferencias de densidad se puede utilizar un medio como el agua o aire para separar las diferentes partículas. Aunado a esto, se puede prever que una misma masa de productos diferentes no necesariamente ocupa el mismo volumen en un empaque; por lo que, podría ser necesario hacer ajustes en dichos materiales. La densidad también es tomada en cuenta para la elaboración de productos para bebés quienes requieren de alimentos más ligeros (Shuang-kui *et al.* 2014, Miquilena *et al.* 2016, Rosentrater y Evers 2018).

v. pH

Por definición el pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidronio. Su determinación es vital para conocer el estado (ácido, neutro o básico) de los grupos tecnológicos de los macronutrientes que constituyen los alimentos y así, explicar las interacciones moleculares que afectan las propiedades tecnológicas (Belitz *et al.* 2009).

Por ejemplo, los aminoácidos que constituyen las proteínas pueden estar cargados o no dependiendo del pH de la solución y de esta forma se puede estimar la hidratación de estos componentes. Por otra parte, los polisacáridos que constituyen los carbohidratos y la fibra, presentan grupos carboxilo con o sin sustituyentes, los cuales pueden estar cargados o no según el pH afectando las asociaciones intermoleculares. Lo mismo pasa con los grupos tecnológicos de los ácidos grasos y lípidos complejos (Belitz *et al.* 2009).

K. Color

El color es la respuesta ante la incidencia de un haz de luz sobre un objeto en un intervalo estrecho de longitudes de onda y depende de factores como la fuente de luz, la longitud de onda y el observante. Ante dicho estímulo, ocurren fenómenos físicos como la reflexión, refracción, transmisión, entre otros; los cuales, generan lo que se conoce como el color (Bashir *et al.* 2017, Armijo 2014). Su diagnóstico en alimentos es de interés porque es el primer aspecto que perciben los consumidores y puede determinar su aceptación o rechazo; además, sirve como parámetro de control de calidad (Goñi y Salvadori 2015).

Las mediciones de color se realizan generalmente usando colorímetros digitales, los cuales poseen una fuente de iluminación estándar (como el iluminante D65) y se representan usando el espacio de color CIELab, un estándar internacional para adoptado por la *Commission Internationale d'Eclairage* (CIE) en 1976 (Goñi y Salvadori 2015). Este utiliza las coordenadas L* (luminosidad que mide el eje del color negro-blanco en una escala de 0 a 100), a* (coordenada asociada al eje verde-rojo) y b* (coordenada que mide el color azul-amarillo) (Bashir *et al.* 2017).

También existe el sistema CIElch, el cual utiliza los parámetros L^* , C^* (chroma o saturación, calculado como la raíz de a^2+b^2) y el $^{\circ}H$ (ángulo hue o tono, calculado como $\arctan = (b^*/a^*)$), donde L^* , a^* y b^* son obtenidos de la escala CIElab (Ananías *et al.* 2003).

El tono (llamado también color, tinte o matiz), es la manifestación pura de la longitud de onda o la resultante de la mezcla entre colores primarios, secundarios y terciarios. Por otra parte, la saturación es la cantidad de color que se expresa y la luminosidad o brillo se refiere a la simulación de la luz blanca para dar la sensación de volumen y distancia. Los tres parámetros se perciben mezclados entre sí para dar la propiedad final de color. El valor del ángulo determina el tipo de color que se observa; por ejemplo, un ángulo de 270° representa un color azul, pero un ángulo de 90° indica un tono amarillo (ver Figura 3) (Wattson 2010).

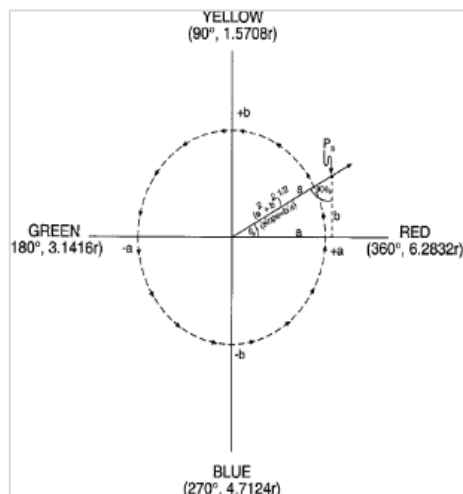


Figura 3. Angulo de tono ($^{\circ}$ Hue) según las coordenadas de color del sistema CIElch
Fuente: Tomado de Wattson 2010.

L. Textura

La textura es una propiedad reológica que se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y de superficie de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos. Lo anterior, porque la percepción sensorial de la textura implica uno o muchos estímulos (visual, auditivo y kinestésico) trabajando en combinación (Venugopal 2011). Además, es determinante de la aceptación de los alimentos.

Se puede evaluar por medios instrumentales o técnicas sensoriales; aunque, para que su determinación sea completa se requieren ambos. La medición sensorial puede identificar diferencias sutiles en los alimentos que elude la prueba mecánica; mientras que, la instrumental tiene la ventaja de ser cuantitativa y no arbitraria. Esta última es una prueba destructiva que se lleva a cabo con un texturómetro y conlleva a la obtención de una relación tensión-deformación, típicamente mediante la compresión o el alargamiento de un espécimen de dimensiones conocidas (Barrett 2002, Milde *et al.* 2009, Torres *et al.* 2015).

Existen numerosas pruebas que se pueden aplicar a los alimentos, de las cuales se destaca la compresión unidireccional y la prueba de perfil de textura (TPA por sus siglas en inglés). Estas se aplicaron para el análisis de las galletas y del pan de molde respectivamente. La primera sirve para comparar la firmeza aparente de los productos y se pueden utilizar dos parámetros: la fracturabilidad (fuerza o distancia a la que el alimento empezó a quebrarse) o la dureza (fuerza máxima a la que el producto se quebró totalmente en $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$) (Barrett 2002, Rodríguez 2014, Torres *et al.* 2015). La segunda consiste en una prueba donde el alimento, generalmente de 1 cm^3 se comprime dos veces entre dos platos, usualmente al 80% de su altura original. Con esto, se intenta reproducir dos mordiscos humanos; por lo que, se realizan dos compresiones. Con dicha información se genera una curva de fuerza contra tiempo (Figura 4), la cual es analizada para obtener las propiedades de textura que se indican en el Cuadro V (Esra 2007).

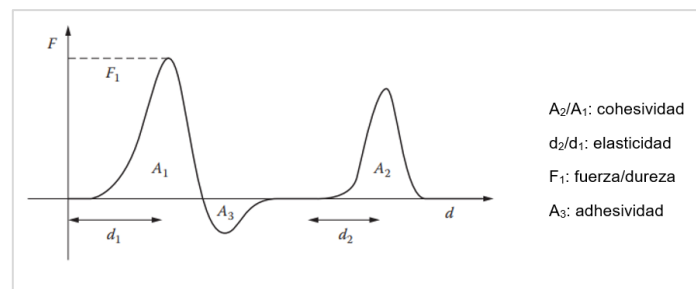


Figura 4. Curva de fuerza-desplazamiento típica de una prueba de perfil de textura
Fuente: Adaptado de Venugopal, 2011.

Cuadro V. Definiciones utilizadas en la determinación del perfil de textura de alimentos.

Término	Definición
Cohesividad	Grado al que el producto se mantiene unido e indica la fuerza de los enlaces internos del producto. Se calcula como la relación entre el área positiva del segundo y primer ciclo.
Adhesividad	Es el trabajo requerido para separar el cilindro de la muestra; por tanto, indica el grado al que el producto se pega a las superficies de la boca.
Dureza	Pico de fuerza en el primer ciclo de compresión que indica la fuerza que se requiere para comprimir el alimento entre los molares.
Elasticidad	Es la altura que el alimento recupera durante el tiempo entre la primera compresión y la segunda.
Fracturabilidad	Grado al que el producto se fractura en pedazos.
Masticabilidad	Trabajo requerido para masticar un alimento hasta que esté listo para ser tragado. Se calcula multiplicando la dureza por la cohesividad y la elasticidad.

Fuente: Elaborado con base en Venugopal 2011 y Lezama 2015.

M. Prueba sensorial de agrado

El análisis sensorial es una ciencia que se vale de los sentidos humanos para medir, analizar e interpretar las cualidades de los alimentos. Es de relevancia porque, a diferencia de las pruebas instrumentales, permite valorar la forma en que los consumidores perciben los productos y así, determinar su potencial en el mercado. Al mismo tiempo, permite recabar información útil para considerar en el desarrollo, mantenimiento y optimización de productos (Meilgaard *et al.* 1999, Armijo 2014).

Existen numerosas pruebas sensoriales dentro de las cuales se encuentran las pruebas afectivas, en estas se busca evaluar la respuesta de aceptación o preferencia hacia ciertos productos. Para esto, habitualmente se recomienda un número grande de panelistas no entrenados (100 – 500), elegidos al azar o por edades, sexo u otras características. Un ejemplo de ellas consiste en la prueba sensorial de agrado, la cual se utiliza para inferir el gusto prioritario de los consumidores hacia ciertas muestras por medio de puntajes relativos analizados con base estadística (Meilgaard *et al.* 1999, Armijo 2014).

En la prueba de agrado se reclutan individuos que les guste el tipo de producto a evaluar y este se presenta según su uso normal. Para la evaluación se utiliza una escala hedónica, la cual puede estar rotulada o no en los extremos con: “Me desagrada extremadamente” y “Me gusta extremadamente” y con el centro con: “no me gusta ni me disgusta”. En dicha escala, se marca una línea vertical, según el nivel de agrado (Meilgaard *et al.* 1999, Lawless y Heymann 2013). Cabe

rescatar que la medida de aceptación no garantiza el éxito del producto; pues este, depende de múltiples factores como el mercadeo (Quirós 2013).

Debido a que estas pruebas utilizan numerosas muestras (panelistas) se espera encontrar una alta variabilidad en las observaciones; por esta razón, se recomienda realizar un análisis de conglomerados o grupos. Estos consisten en una segmentación de datos en varios subgrupos identificando similitudes entre las respuestas de los consumidores (Quirós 2013, Lezama 2015). De esta forma se pueden ponderar los datos y obtener conclusiones apropiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Localización

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela de Tecnología de Alimentos (ETA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y en el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), ubicados en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio en San Pedro de Montes de Oca. La preparación de las harinas compuestas sin harina de trigo y el posterior desarrollo de los productos horneados tuvo lugar en la Planta Piloto, mientras que los análisis de la composición química se realizaron en el Laboratorio de Química, ambos del CITA. Por otra parte, el análisis granulométrico de la materia prima, la evaluación de las propiedades tecnológicas y las pruebas sensoriales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Termofluidos y en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la ETA respectivamente.

B. Materias primas

El subproducto de maíz fue adquirido en Productos QROVA y en PROMACA, molinos de la Cartago y San José. El mismo provino de la molienda seca del maíz amarillo y se le conoce coloquialmente como sémola de maíz o *tamo*. Por otra parte, las harinas libres de gluten de arroz y de yuca de la marca Jinca Foods fueron adquiridas mediante compra directa con la empresa del mismo nombre. Los ingredientes menores como huevos, mantequilla, vainilla, azúcar, levadura instantánea, leche en polvo, sal, aceite, polvo de hornear y harina de trigo como producto de referencia, se compraron en los supermercados locales; mientras, que los aditivos para pan como la goma xantán y la goma guar se obtuvieron de las empresas Química Macías SA y Distribuidora del Caribe respectivamente.

C. Equipos

Seguidamente se muestra una descripción de los equipos utilizados para la elaboración de productos y para el análisis de materia prima.

Cuadro VI. Información de los principales equipos utilizados para el análisis de materia prima y la elaboración de productos horneados.

Prueba	Equipo	Marca y modelo
Estabilización de materia prima	Autoclave	Hirayama MPG Corp., Hillclave
	Secador aire caliente	Excalibur Professional, Parallexx
Análisis granulométrico y separación de fracciones	Vibrador para tamizar	WS Tyler, Rotap – 29
Molienda	Molino	Sterling, modelo B0052FFF2AO
Propiedades tecnológicas	Vortex	Thermolyne, 37600
	Centrífuga	Eppendorf, 5810R 15 amp versión
	Homogeneizador manual	KIA WERKE, Ultra Turrax T – 25 Basic
Elaboración de galletas y pan	Batidora	Ecomax TM Hobart Professional, ES10
	Horno eléctrico de convección	Nieto, Salva Hwik-Co
Análisis de textura	Laminadora	Dynasty
	Analizador de textura	Stable MicroSystems, TA. XTPlus
Análisis de color	Colorímetro	Hunter Lab, Color Flex

D. Pruebas Preliminares

i. Estabilización de la materia prima

El subproducto de maíz (que en adelante se denominará solo *subproducto*) se almacenó por un mes a temperatura ambiente y se notó un cambio sensorial, principalmente por su olor rancio. Esto fue predecible; ya que, se conoce que la oxidación de la harina de maíz y sus subproductos es uno de los factores de deterioro más evidentes, razón por la cual el maíz se desgermina (Serna-Saldivar *et al.* 2001, Molinares 2002, Krishna y Chandrasekaran 2012, Mandala y Rosell 2015, Yin *et al.* 2017).

En la literatura se reportan técnicas de inactivación de enzimas en cereales, lo cual indica que es posible evitar o retrasar su deterioro (Becker 2008, Belitz *et al.* 2009, Rosentrater y Evers 2018). Por este motivo, se decidió probar la estabilización del subproducto aplicando la metodología propuesta por Lezama (2015) con ciertas modificaciones. Esta se realizó por medio de un tratamiento térmico con vapor de agua en autoclave (110 °C, presión 50 kPa, por 20 min) y un secado posterior con aire caliente a 70 °C por 40 min.

Una vez realizada la estabilización, en cada una de las fracciones granulométricas del subproducto, se realizó una prueba cualitativa de enzimas con la aplicación de peróxido de hidrógeno; el cual, libera oxígeno ante la presencia de peroxidasa (Lezama 2015). La materia prima sin estabilizar produjo mucho oxígeno en forma de gas; mientras que, la prueba resultó negativa para las muestras tratadas con calor (ver Figura 5). Luego de esto, el subproducto estabilizado se almacenó durante varias semanas para detectar si persistían los cambios sensoriales, los cuales no fueron evidentes. De esta forma, se resolvió aplicar este procedimiento a todos los lotes de materia prima antes de las pruebas y de la elaboración de productos horneados.

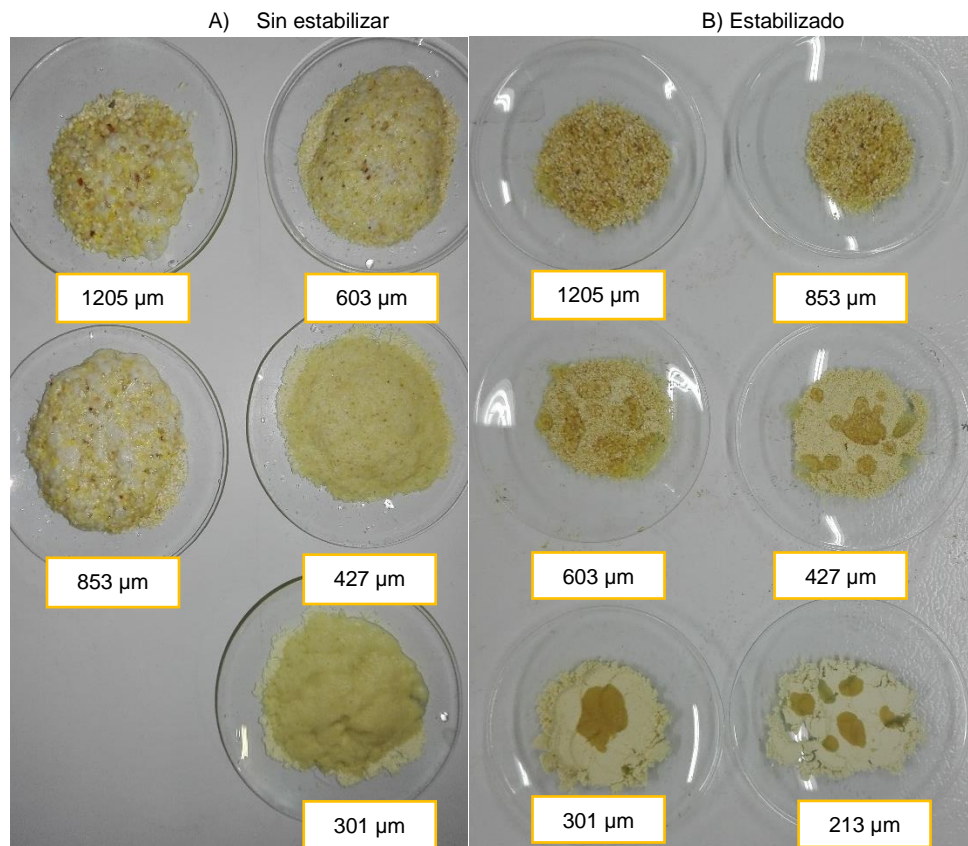


Figura 5. Prueba cualitativa de peroxidasa aplicando peróxido de hidrógeno en las fracciones de subproducto de maíz A) Sin estabilizar, hay liberación de gas B) Estabilizado, no se liberó gas.

ii. Análisis de tamaño de partícula y composición química

Lo primero que se realizó durante la caracterización del subproducto, fue el análisis granulométrico con el fin de conocer las fracciones que constituían esta materia prima, su rendimiento relativo y el diámetro medio de partícula. Para esto, se utilizó un lote preliminar (lote 0) que se fraccionó por el método de tamices. De esta manera, se obtuvo seis fracciones con diámetros de partícula de 1205 μm (7%), 853 μm (18%), 603 μm (16%), 427 μm (15%), 301 μm (19%) y 213 μm (23%) respectivamente y los demás se descartaron.

Luego, a cada fracción se le realizó un análisis de composición química para determinar si esta dependía del tamaño de partícula y se obtuvo los resultados del Cuadro VII. Se observó que el subproducto poseía una cantidad de grasa y proteína relevante que no varió tan evidentemente con el tamaño de partícula, a diferencia de la fibra dietética y el almidón.

Cuadro VII. Composición química en base húmeda del subproducto de maíz en un ensayo preliminar para la caracterización de dicha materia prima, representa el lote 0 (n = 2).

Tamaño de partícula (μm)	Grasa (g/ 100g)	Proteína (g/ 100g)	Fibra dietética (g/ 100g)	Almidón total (g/ 100g)
1205	5,4 \pm 0,1	9,4 \pm 0,06	17,0 \pm 0,2	34 \pm 3
853	4,0 \pm 0,8	9,0 \pm 0,03	21,2 \pm 0,1	45 \pm 2
603	4,3 \pm 0,1	8,6 \pm 0,04	22,1 \pm 0,1	49 \pm 4
427	3,9 \pm 0,2	6,4 \pm 0,01	18,4 \pm 0,2	52 \pm 2
301	3,8 \pm 0,1	8,0 \pm 0,2	11,1 \pm 0,4	52 \pm 4
213	3,1 \pm 0,2	5,8 \pm 0,06	4,6 \pm 0,1	69 \pm 3

A partir de dichos resultados, se decidió estudiar la composición química de las seis fracciones y de la materia prima sin fraccionar, con el fin de determinar las fracciones con mejor valor nutricional para su aplicación en productos horneados. Además, se propuso llevar a cabo una reducción de tamaño de las fracciones de 1205 μm , 853 μm y 603 μm con el propósito de producir tamaños más convenientes para su aprovechamiento; ya que, fueron las que presentaron mayor cantidad de fibra dietética. Sin embargo, la fracción del tamiz 35 (603 μm) no se molió debido a que la apertura de las mallas disponibles para el molino era mayor que el tamaño de partícula de dicha fracción y por tanto, no se esperó una reducción relevante de su tamaño.

iii. Proceso de elaboración de productos horneados

Para las galletas se utilizó una mezcla de harinas de arroz y yuca, margarina, azúcar, polvo de hornear, vainilla, agua y las respectivas fracciones de subproducto de maíz. Mientras que para el pan los ingredientes fueron una mezcla de harinas de arroz y yuca, leche el polvo, azúcar, goma xantán y guar, levadura instantánea, sal, huevo, agua y aceite vegetal. Los flujos de proceso de cada producto se muestran en las Figuras 6 y 8.

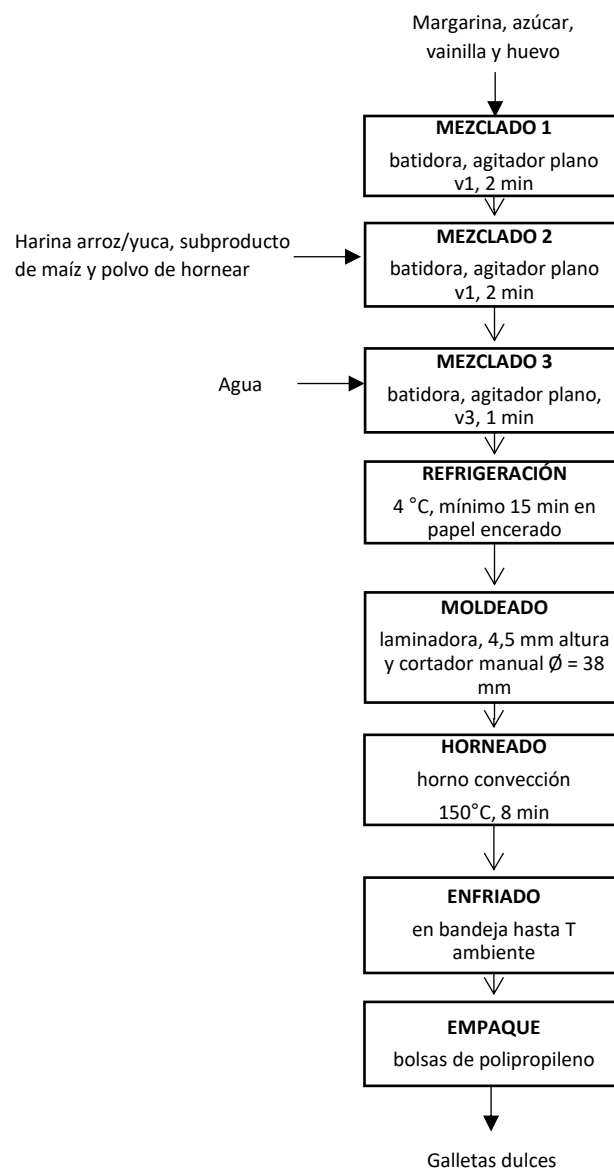


Figura 6. Flujo de proceso de la elaboración de galletas dulces
(v1: velocidad mínima, v3: velocidad máxima, T: temperatura)

Descripción de las etapas y los cambios ocurridos durante cada una:

- **MEZCLADO 1.** Se añadió la margarina, el azúcar, el azúcar y el huevo para formar una pasta homogénea.
- **MEZCLADO 2.** Luego se incorporaron los productos particulados mezclado previamente de forma manual. En este paso, el azúcar se disuelve parcialmente, la grasa se ablanda y rodea las partículas de harina, sirviendo como un medio para unir todos los ingredientes (Tireki, 2008).
- **MEZCLADO 3.** Se incorporaron los ingredientes húmedos para disolver todos los componentes de manera uniforme y formar una masa.
- **REFRIGERACIÓN.** La masa se refrigeró con el fin de enfriar la margarina y asegurar su estado sólido para facilitar su posterior moldeado (Tireki, 2008).
- **MOLDEADO.** Se llevó acabo en la laminadora Dynasty con las especificaciones indicadas y un cortador comercial de forma circular.
- **HORNEADO.** Las galletas se colocaron sobre papel encerado en bandejas metálicas con un espacio de 10 cm a partir de cada borde de la bandeja (como se muestra en la Figura 7) y se hornearon en la posición central del horno; todo esto para propiciar una distribución homogénea del calor. Durante este proceso ocurre una gelatinización mínima debido al bajo contenido de humedad de la masa; pero, se desarrollan el color, olor y sabor producto de las reacciones de caramelización y Maillard. Además, se da la fusión de la grasa y expansión de gas, aumentando ligeramente el tamaño de las galletas (Tanhehco y Ng, 2008; Tireki, 2008).

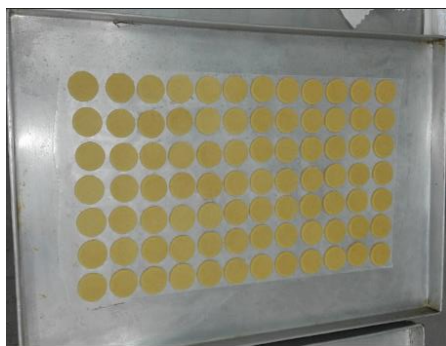


Figura 7. Galletas crudas en bandeja

- **ENFRIADO.** Las galletas se dejaron enfriar a temperatura ambiente sobre las bandejas donde se hornearon antes de desmoldar, pues cuando estas salen del horno están en un estado plástico e inestable porque el almidón se encuentra ligeramente gelatinizado, los azúcares y dextrinas están solubilizados y los lípidos están en forma líquida. Sin embargo, conforme se enfrían, pierden más humedad y la galleta cambia a una estructura seca y dura (Tireki, 2008).
- **EMPAQUE.** Las galletas se empacaron en bolsas de polipropileno y se almacenaron por 24 horas en un lugar seco a temperatura ambiente antes de ser analizadas.

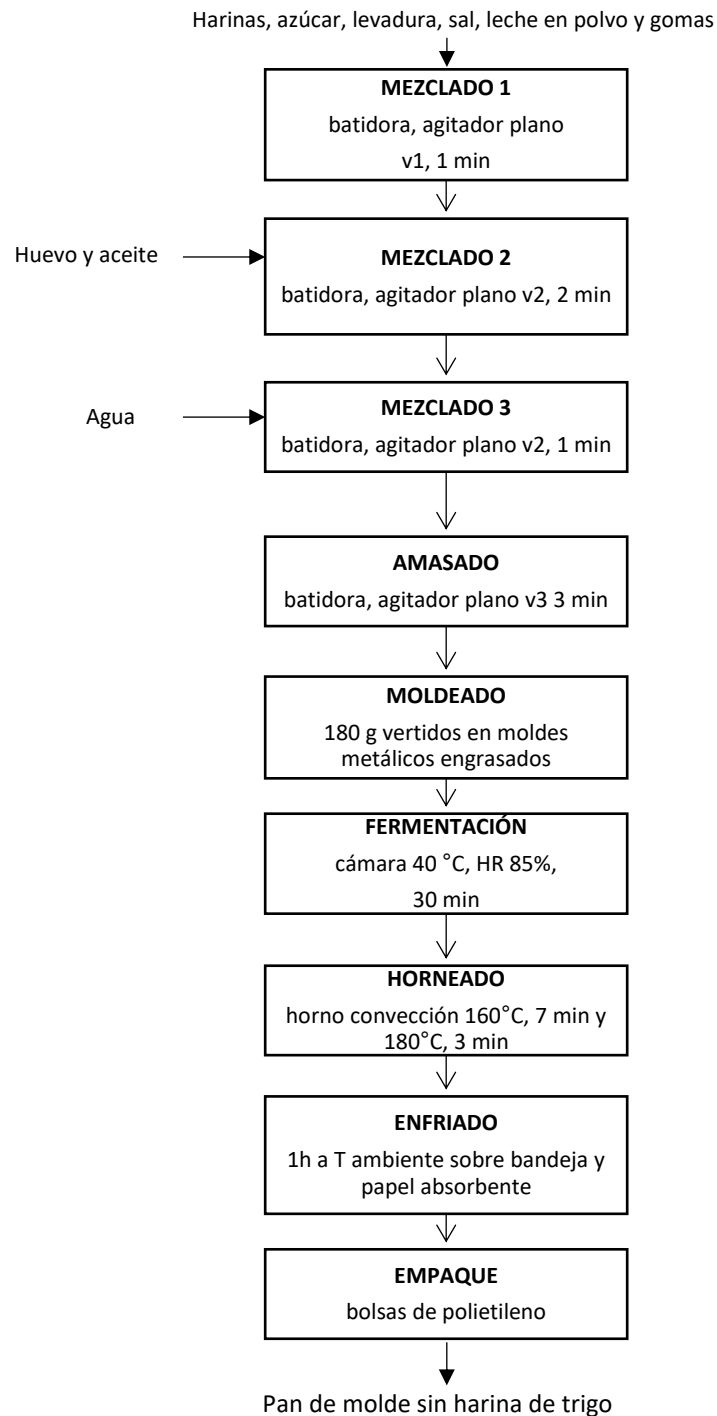


Figura 8. Flujo de proceso de la elaboración de pan de molde
(v: velocidades 1,2 y 3 = mínima, intermedia y máxima, T: temperatura, HR: humedad relativa)

Descripción de las etapas y los cambios ocurridos durante cada una:

- **MEZCLADO 1.** Se mezclaron todos los ingredientes secos dentro de la batidora para su adecuada distribución.
- **MEZCLADO 2.** Se añadieron los ingredientes líquidos (huevos y aceite) para formar una pasta homogénea. Durante este mezclado se incorpora un poco de aire a la mezcla lo cual favorece el volumen del pan (Indrani y Rao 2008).
- **MEZCLADO 3.** Se agregó agua a una temperatura de aproximadamente 55 °C para hinchar los gránulos de almidón y favorecer la absorción de agua; además, de activar las levaduras para la fermentación (Tireki 2008). Este mezclado sirve para solubilizar los demás ingredientes, hidratar las proteínas y los carbohidratos y formar un ambiente propicio para las para reacciones químicas posteriores (Indrani y Rao 2008).
- **AMASADO.** Con todos los ingredientes incorporados, se aumentó la velocidad de la batidora para iniciar con el amasado. Este paso, permite las interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas de los componentes de la masa, brindándole estructura y viscosidad, además se incorpora más aire y se emulsionan las fases (Indrani y Rao 2008).
- **MOLDEADO.** Las masas se porcionaron en 180 g por molde rectangular y 30 g por molde redondo para quequito, estos últimos se utilizaron para la medición de volumen específico. Todos los moldes se engrasaron generosamente con manteca para evitar la adhesión de la masa a sus paredes.
- **FERMENTACIÓN.** Se llevó a cabo en la cámara de fermentación acondicionada con agua según las condiciones anteriores. Las bandejas se colocaron en la parte central de la cámara para asegurar un ambiente homogéneo. En este paso se da el crecimiento del pan a través de la fermentación de la masa, pues los azúcares se convierten en alcohol y en dióxido de carbono provocando un aumento de volumen. Además, se desarrollan olores y sabores de los compuestos generados por las levaduras (Indrani y Rao 2008).
- **HORNEADO.** Se hizo de forma escalonada (primero 7 min a 160 °C seguido por 3 minutos a 180 °C) para evitar una cocción grosera del pan. Los moldes se colocaron sobre bandejas en la parte central del horno para asegurar la distribución homogénea del calor. Durante este proceso se da la formación de la corteza, conversión del agua en vapor y por ende, la expansión y el escape de dióxido de carbono. Las proteínas se desnaturalizan, el almidón gelifica, se forman dextrinas y se forma la miga. Durante los últimos minutos de horneado, la humedad migra del almidón a

la proteína gradualmente y se da una leve caramelización y reacción de Maillard, produciendo colores, sabores y aromas (Tireki 2008).

- **ENFRIADO.** Se realizó sobre bandejas con papel absorbente por un periodo de 1 h a temperatura ambiente, donde continúa una ligera cocción. Los panes se voltearon cada 10 min para evitar la condensación del vapor de agua.
- **EMPAQUE.** Los panes se almacenaron a temperatura ambiente durante 24 h en bolsas de polietileno hasta su posterior análisis. La Figura 9 ilustra el pan de molde obtenido.



Figura 9. Pan de molde sin harina de trigo

E. Pruebas definitivas

i. Descripción general de la metodología experimental

Primeramente, se caracterizó el subproducto a partir de un análisis granulométrico para determinar su distribución de tamaño, el diámetro de las fracciones más representativas y su rendimiento. Además, se molieron dos de las fracciones más grandes (1205 μm y 853 μm) para adecuarlas al tamaño recomendado para productos horneados, luego se determinó su nueva distribución y el diámetro de partícula final.

También, se realizó un análisis de composición química para establecer si existían diferencias significativas entre las fracciones y seleccionar las de mayor valor nutricional, principalmente en cuanto al contenido de fibra dietética. Se determinó la cantidad de proteína, lípidos, fibra dietética, almidón total y humedad. Dichos componentes son los más estudiados en productos horneados; ya que, son los que afectan mayoritariamente sus características de calidad. Las cenizas no se determinaron por fines prácticos y porque se conoce que su contenido es menor al 3% según lo reportado (Willis y Okos 2003, Taghdir *et al.* 2017).

Paralelamente, se llevó a cabo un estudio de las propiedades tecnológicas de las diferentes fracciones para pronosticar sus posibles aplicaciones. Se determinó la densidad *bulk*, el pH, la capacidad de retención de agua y absorción de aceite, la capacidad de formación de espuma y la estabilidad de la espuma. Para estos análisis se utilizaron muestras de referencia (mezcla de harina de arroz:yuca 50:50 de Jinca Foods, harina de trigo todo propósito de la marca Gold Medal y clara de huevo para la comparación de datos). También se agregaron las dos fracciones de 1205 μm y 853 μm molidas, cuyos diámetros medios finales fueron 452 μm y 455 μm respectivamente.

Seguidamente, se seleccionaron tres fracciones tomando en cuenta los resultados previos, se formularon galletas y pan de molde y se evaluaron los productos en un panel sensorial informal del cual se discutió la elección de dos fracciones y dos porcentajes de sustitución adecuados. Con base en dichos resultados, se elaboraron las galletas y el pan de molde finales y se ejecutaron dos paneles de agrado general para cada producto para determinar la percepción de los consumidores. Asimismo, se realizaron pruebas reológicas (dureza para galletas y análisis de perfil de textura [TPA] para el pan) y físicas (color, diámetro, grosor/altura, masa final y volumen específico) para cada producto con el fin de conocer los efectos de la incorporación del subproducto.

Para el análisis de resultados se trabajó con 5% de significancia y se realizaron los análisis de varianza. Para los casos en los que no se encontró diferencias significativas se calculó la potencia de la prueba con el fin de complementar el análisis, este resultado se indica en la sección de Anexos para cada caso. Por convenio se considera que una potencia mayor a 80% permite establecer que la prueba es adecuada para detectar diferencias, en caso contrario se especifica aumentar el número de muestra (Mayorga, 2013).

En la Figura 10, se ilustra el esquema metodológico seguido para las diferentes pruebas (no incluye las pruebas preliminares). Todo lo anterior, se llevó a cabo con tres lotes de materia prima, los cuales se utilizaron como bloques en los diseños experimentales.

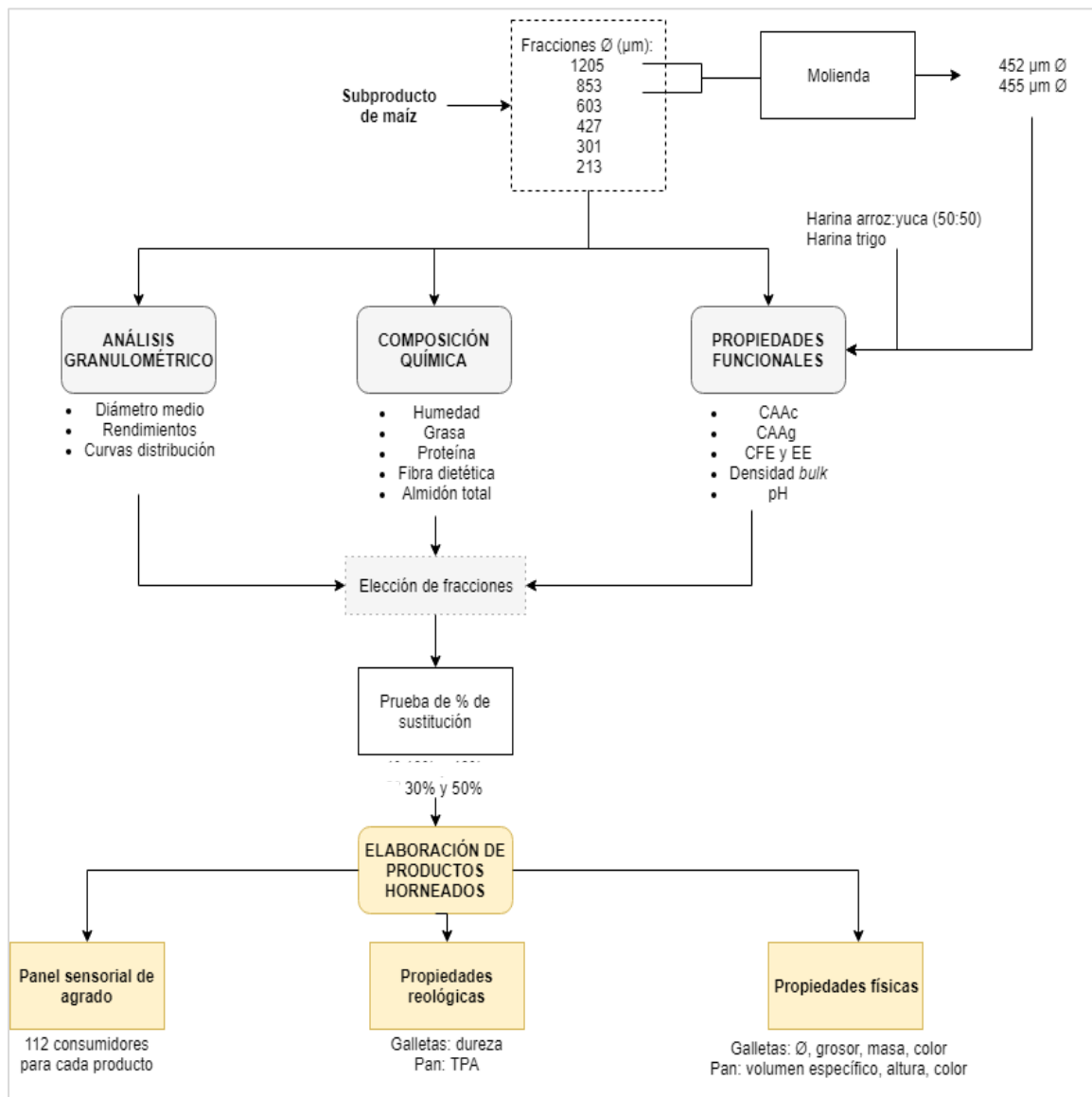


Figura 10. Esquema metodológico de los experimentos que se realizaron en la investigación (CAAg: capacidad de retención de agua, CAAc: capacidad de absorción de aceite, CFE: capacidad de formación de espuma, EE: estabilidad de la espuma, TPA: prueba de perfil de textura)

ii. Composición química

Se realizó un diseño de bloques completos al azar con:

- Bloques: tres lotes de materia prima
- Un factor: la fracción del subproducto de maíz, con seis niveles (1205 μm , 853 μm , 603 μm , 427 μm , 301 μm y 213 μm)

Esto para un total de 18 muestras. La composición del subproducto sin fraccionar se reportó por aparte. Las variables respuesta fueron: contenido de proteína, lípidos, almidón total, fibra dietética y humedad, las cuales se analizaron por duplicado.

Se trabajó con un 5% de significancia y se realizaron los ANDEVAS para cada variable respuesta. Además, cuando se encontraron diferencias significativas para el factor se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey. Este experimento tuvo como finalidad establecer la composición de la materia prima global y de sus fracciones constituyentes para elegir las de mayor valor nutricional.

Cuadro VIII. Diseño de bloques completos al azar con un factor (fracción) para la composición química de la materia prima.

Tratamiento*	Factor Fracción (μm)
1	1205
2	853
3	603
4	427
5	301
6	213

*Cada tratamiento se realizó tres veces, el lote 1 y el 2 fueron adquiridos en la empresa QROVA y el lote 3 en PROMACA.

iii. Propiedades tecnológicas

Se realizó un diseño de bloques completos al azar con:

- Bloques: tres lotes de materia prima
- Un factor: Tipo de harina o fracción, con 10 niveles (excepto para la capacidad de formación de espuma [CFE] y la estabilidad de la espuma [EE], para la cual se utilizaron 11 niveles).

Esto para un total de 30 muestras (33 para la CFE y la EE). Las variables respuesta fueron las siguientes propiedades tecnológicas medidas por cuadruplicado: capacidad de absorción de aceite (CAA), capacidad de retención de agua (CRA), CFE y EE, densidad *bulk* y pH.

Se trabajó con un 5% de significancia y se realizaron los ANDEVAS para cada variable respuesta. Además, cuando se encontraron diferencias significativas para el factor se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey. Con este experimento se buscó indagar cuáles fracciones presentaron las propiedades tecnológicas más cercanas o mejores a los productos de referencia.

Cuadro IX. Diseño de bloques completos al azar con un factor (tipo de harina o fracción) para la determinación de las propiedades tecnológicas.

Tratamiento*	Factor (tipo de harina o fracción)
1	1205 μm
2	853 μm
3	603 μm
4	427 μm
5	301 μm
6	213 μm
7	1205 molida (455 μm)
8	853 molida (452 μm)
9	Mezcla harina arroz:yuca
10	Harina de trigo
11	Clara de huevo**

*Cada tratamiento se realizó tres veces, el lote 1 y el 2 fueron adquiridos en la empresa QROVA y el lote 3 en PROMACA.

**El huevo se utilizó solo aplica para la capacidad de formación de espuma y estabilidad de la espuma como muestra de referencia.

iv. Elaboración de productos horneados con sustitución de algunas fracciones del subproducto de maíz y análisis de sus características de calidad

Después de la elección de los porcentajes de sustitución y de las fracciones finales, se realizó un diseño de bloques completos al azar (Cuadro X) con:

- Bloques: tres lotes de productos horneados
- Dos factores: el porcentaje de sustitución (30%, 50% y 0% como control) y las fracciones (301 μm y 530 μm).

Esto para un total de 15 tratamientos. Las variables respuesta fueron:

- Propiedades reológicas: dureza en galletas medida por septuplicado y prueba de perfil de textura en pan medida por sextuplicado.
- Propiedades físicas de calidad: diámetro, grosor, expansión y masa final medidas por quintuplicado para las galletas. Volumen específico y altura medidos por triplicado para el pan. Así como, color medido por triplicado para ambos productos.

Se trabajó con un 5% de significancia y se realizaron los ANDEVAS para cada variable respuesta. Además, cuando se encontraron diferencias significativas para el factor se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey. Este experimento tuvo como finalidad, ver el efecto de la sustitución con el subproducto de maíz en galletas y en pan de molde y explicarlo mediante las propiedades tecnológicas de las fracciones. Por practicidad, se utilizará la codificación descrita en el Cuadro X para denominar a cada uno de los tratamientos.

Cuadro X. Diseño de bloques completos al azar con dos factores (porcentaje de sustitución y fracción) para la elaboración de productos horneados y la determinación de sus características reológicas y de calidad.

Tratamiento*	Porcentaje de sustitución	Fracción (μm)	Codificación
1	0	Ninguna**	C0
2	30	301	F30
3	50	301	F50
4	30	530	G30
5	50	530	G50

*Cada tratamiento se realizó tres veces.

**Corresponde al control, sin sustitución de fracciones granulométricas.

v. Panel sensorial de agrado

Para este experimento se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con dos factores (porcentaje de sustitución y tipo de fracción) para un total de cinco tratamientos medidos por 112 panelistas para cada producto, ver Cuadro XI. La variable respuesta consistió en el agrado de los panelistas. Para el análisis de resultados, se llevó a cabo un análisis de conglomerados y según los grupos encontrados, se realizó un ANDEVA y una prueba de Fisher LSD para la comparación de las medias con diferencias significativas dentro de cada grupo. Todo lo anterior se evaluó con el programa estadístico de XLSTAT versión 2018.5.

Cuadro XI. Diseño irrestricto aleatorio con dos factores (porcentaje de sustitución y tipo de fracción) para la determinación del agrado de los productos horneados mediante una prueba de aceptación sensorial con 112 consumidores.

Tratamiento*	Porcentaje de sustitución (%)	Fracción (µm)
1	0	Ninguna**
2	30	301
3	50	301
4	30	530
5	50	530

*Cada tratamiento se evaluó 112 veces.

**Corresponde al control, sin sustitución de fracciones granulométricas.

F. Métodos de análisis

i. Tamaño de partícula (TP)

La determinación del TP del subproducto de maíz se realizó utilizando la metodología de los tamices normalizados de la ASTM (*American Society for Testing Materials*), la cual se basa en diferentes telas metálicas con aperturas con una relación de 2 ¼ cm entre tamices adyacentes.

La elección de los nueve tamices más el plato se realizó de manera que el primero no retuviera nada de muestra; mientras, que el último permitiera pasar menos del 1% hasta el plato. Posteriormente se pesó entre 150 g – 500 g de muestra, dependiendo de la cantidad disponible de muestra y del total de tamices elegidos, estos se prepesaron y se ensamblaron de mayor a menor apertura (de arriba hacia abajo) colocando la muestra en el tamiz superior.

Se colocó este conjunto en el vibrador Ro-TAP por 15 minutos y luego de este tiempo se pesó cada tamiz y el plato. La vibración se continuó por periodos de 5 minutos hasta que se alcanzó un peso constante (Ver Anexos, Cuadros XXXVI y XXXVII para los datos del análisis diferencial y acumulativo) (Raghavendra *et al.* 2006, Ortega-Rivas 2012, Lezama 2015, Fernández-Muñoz *et al.* 2016).

Finalmente, la muestra retenida en cada tamiz se calculó por diferencia y se construyeron los cuadros y gráficas de análisis diferencial y acumulativo, se determinó el tamaño medio de partícula de cada muestra (sumatoria de los productos de las fracciones retenidas en cada tamiz por su diámetro medio de partícula) y la razón de reducción de tamaño para el caso de las muestras que fueron molidas (cociente del diámetro promedio final luego de la molienda entre el diámetro promedio inicial de la muestra).

En el Cuadro XII, se indican los tamices utilizados para la determinación del tamaño de partícula junto con su apertura respectiva y el diámetro medio que se utilizó para calcular el tamaño de las fracciones del subproducto de maíz a lo largo de este trabajo. Este análisis se realizó para un total de 4 lotes (el lote preliminar, el 1, 2 y 3).

Cuadro XII. Número de tamiz según la serie US Estándar, tamaño de apertura y diámetro medio de partícula utilizados para el análisis granulométrico.

Tamiz US estándar	Apertura (μm)	Diámetro medio de partícula (D_p)*(μm)
10	1999	No aplica
14	1410	1704
18	1001	1205
25	706	853
35	500	603
45	353	427
60	249	301
80	178	213
120	124	151
Plato	0	62

*Calculado como el promedio del tamiz superior y el tamiz adyacente.

Cabe rescatar que, por la naturaleza tan cohesiva de las partículas más finas del subproducto, fue necesario limpiar los tamices con una brocha de cerdas suaves entre cada vibración, cuidando

de no perder la muestra, con el fin de que los tamices no se obstruyeran con partículas que no correspondían a su tamaño, ver Figura 11.



Figura 11. Izquierda: Tamiz N°18 (Apertura de 1001 μm) obstruido con partículas finas. **Derecha:** Plato con aglomeración de partículas, menores al tamiz 80 ($D_p \leq 178 \mu\text{m}$).

ii. Composición química

Los análisis químicos se realizaron con base en los métodos del Laboratorio de Química del CITA y se nombran a continuación:

- **Almidón total por el método enzimático:** método AQCITA–M018, el cual se basa en método enzimático del Kit *Megazyme*, a su vez fundamentado con los métodos AOAC 2002.02 y AACC 32-40.01. Las muestras fueron hidrolizadas con α -amilasa y amiloglucosidasa hasta descomponer el almidón a moléculas de glucosa. Luego, esta se oxida con el reactivo de oxidasa/peroxidasa liberando peróxido de oxígeno, el cual genera un compuesto coloreado que se cuantifica por absorbancia con un espectrofotómetro a 510 nm (CITA 2005, Foschia *et al.* 2016). Adicionalmente se determinó el almidón resistente con el uso de hidróxido de potasio y dimetilsulfóxido, de manera que por la suma del almidón soluble y el resistente se obtiene el almidón total.
- **Fibra dietética total (FD) por el método enzimático:** método P–SA–MQ–007 el cual se fundamenta con el oficial AOAC 985.29 (CITA 2016). La determinación se basa en una hidrólisis enzimática de almidón y proteína la cual se realiza en tres etapas, la gelatinización con *Termoamyl* (α -amilasa estable al calor), digestión enzimática con proteasa y amiloglucosidasa

para eliminar la proteína y el almidón; seguida por precipitación con etanol y lavados con acetona, obteniéndose la FD por medio de filtración. Además, a este residuo se le analizaron la proteína y las cenizas para realizar las correcciones respectivas.

- **Grasa por hidrólisis ácida y extracto etéreo:** método P–SA–MQ–009, el cual consiste en la hidrólisis ácida de la muestra con ácido clorhídrico, seguida por una extracción con un solvente poco polar en el equipo Soxhlet (CITA 2012).
- **Humedad:** se determinó por el método termogravimétrico que se fundamenta en la pérdida de masa por la evaporación de agua tras la aplicación de calor. Se utilizó el analizador termogravimétrico TGA 701 de la marca LECO, el cual presenta la ventaja de requerir una manipulación mínima para el análisis; ya que, este se realiza de forma automática luego de pesar la muestra. Se trabajó con muestras de 2 g según el método para granos y derivados (LECO s.f.)
- **Proteína (Nitrógeno total por Kjeldahl):** método P–SA–MQ–003, el cual se basa en el método AOAC 979.09 que consiste en la destrucción oxidativa de las sustancias orgánicas de la muestra mediante el uso de ácido sulfúrico para obtener la cantidad de nitrógeno total que se relaciona con el contenido de proteína utilizando el factor de conversión de 6,25 (CITA 2012).

iii. Propiedades tecnológicas

a. *Capacidad de Absorción de Aceite (CAA)*

Se pesó 1,0 g de muestra en un tubo de centrífuga previamente pesado y se le adicionaron 10 mL de aceite de maíz comercial marca Mazola. Se agitó la suspensión en un *vortex* durante 30 s tres veces, con 10 min de reposo entre cada mezcla, para un total de 30 min a temperatura ambiente. Luego, se centrifugó a 2000 gravedades durante 30 min a una temperatura programada de 24 °C. Posteriormente, se retiró el sobrenadante y las burbujas de aire remanentes con una pipeta pasteur, se invirtió el tubo durante 5 min sobre papel absorbente y se pesó el sedimento. Finalmente se calculó la CAA de la siguiente manera (Lamus y Barrera-Arellano 2005, Kolawole y Akinpelu S 2015, Miquilena *et al.* 2016, Julianti *et al.* 2017):

$$[1] \quad CAA \text{ (g/g)} = \frac{\text{masa (g)}_{\text{tubo+sedimento}} - \text{masa tubo}}{\text{Masa de la muestra (g)}}$$

b. Capacidad de retención de Agua (CRA)

Se siguió el procedimiento realizado por Miqulena *et al.* (2016), con algunas variaciones. Se pesó 1,0 g de muestra en un tubo de centrifuga previamente pesado y se le adicionaron 10 mL de agua destilada. Se agitó la suspensión en un *vortex* durante 30 s tres veces, con 10 min de reposo entre cada mezcla, para un total de 30 min a temperatura ambiente. Luego, se centrifugó a 2000 gravedades durante 30 min a una temperatura programada de 24 °C. Posteriormente, se retiró el sobrenadante, se invirtió el tubo durante 5 min sobre papel absorbente y se pesó el sedimento. Finalmente se calculó la CRA de la siguiente manera:

$$[2] \quad \text{CRA (g/g)} = \frac{\text{masa (g)}_{\text{tubo+sedimento}} - \text{masa tubo}}{\text{Masa de la muestra (g)}}$$

Debido a que existen numerosas metodologías para determinar la CRA, se investigó entre diversos estudios hasta llegar a una compilación de las condiciones más utilizadas (también se puede consultar: Lamus y Barrera-Arellano 2005, Álvarez 2013, Chaparro *et al.* 2014, Kolawole y Akinpelu 2015, Miqulena *et al.* 2016, Julianti *et al.* 2017).

c. Capacidad de Formación de Espuma (CFE) y Estabilidad de la Espuma (EE)

En un tubo de vidrio Pirex graduado externamente por milímetro, se pesó 1,0 g de muestra y se añadió 20 mL de agua destilada. Posteriormente, se introdujo el Ultra-Turax T- 25 basic dentro del tubo para homogeneizar la suspensión, esto se realizó a máxima velocidad durante dos minutos y se midió la altura final de la mezcla. Los tubos se colocaron sobre una gradilla en posición vertical cuidando de no mover las mezclas y las mediciones se realizaron contra un soporte vertical en cada tiempo especificado.

La CFE se calculó de la siguiente forma:

$$[3] \quad \%CFE = \frac{\text{Altura}_1 - \text{Altura}_2}{\text{Altura inicial}} * 100$$

Donde:

- Altura inicial = altura de la mezcla antes de homogeneizar.
- Altura 1 = altura superior de la espuma después de homogeneizar.
- Altura 2 = altura inferior de la espuma después de homogeneizar.

Para la determinar la EE, se midió la altura de espuma transcurridos los 10 min, 30 min y 60 min luego de su homogeneización y se calculó según la ecuación 4. Posteriormente, los resultados se graficaron en función del tiempo.

$$[4] \quad \%EE = \frac{CFE\%_{10; 30 \text{ o } 60 \text{ min}}}{CFE\% \text{ inicial}} * 100$$

Donde:

-CFE%_{10; 30 o 60 min} = porcentaje de formación de espuma calculado según la ecuación 3 utilizando la altura 1 y la altura 2 medidas para cada tiempo respectivamente.

-CFE%_{inicial} = porcentaje de formación de espuma en el tiempo 0 min, según la ecuación 3.

Cabe mencionar que la mayoría de las metodologías se transfiere la mezcla homogeneizada a recipientes graduados para medir el volumen de la espuma, eso no se realizó porque se vio que al transferir el líquido se perdía espuma en el trasvase; por lo que, la mezcla se hizo directamente en el recipiente (Lin y Humbert 1974, Lamus Uvarova y Barrera-Arellano 2005, Shuang-kui *et al.* 2014, Mokni *et al.* 2015, Miquilena *et al.* 2016).

d. Densidad bulk (ρ_b)

Esta propiedad se determinó como un intervalo en términos de:

- ρ_b remecida (*tapped*): después de aplicarle vibración o golpeteo ligero al polvo
- ρ_b compactada (*compacted*): después de aplicarle una fuerza de compresión al polvo

Se utilizaron probetas de 10 mL con marcas cada 0,5 mL. Primero, se añadió la muestra hasta la marca de 10 mL y se sometió la probeta a vibración manual aplicando la misma fuerza y altura durante 15 veces sobre una superficie suave. Luego, se añadió más muestra, nuevamente hasta la marca de 10 mL y se repitió la vibración y el llenado hasta obtener un volumen constante de 10 mL. A partir de dicho volumen, se pesó la probeta junto con la muestra, se calculó la masa de la muestra por diferencia y se calculó la *densidad tapada*:

$$[5] \quad \rho_b \text{ tapada} = \frac{m_{p+m} - m_p}{10 \text{ mL}}$$

donde: ρ_b = densidad *bulk* (g/mL = g/cm³), m_{p+m} = masa de probeta más muestra y m_p = masa de la probeta.

Posteriormente, se compactó la muestra con un cilindro del mismo diámetro que la boca de la probeta hasta un volumen final constante, aplicando la misma fuerza, con el volumen final y la masa de la muestra se calculó la *densidad compactada*.

$$[6] \quad \rho_b \text{ compactada} = \frac{m_{p+m} - m_p}{V_{\text{final}}}$$

donde: ρ_b = densidad *bulk* (g/mL = g/cm³), m_{p+m} = masa de probeta más muestra y m_p = masa de la probeta, V_{final} = volumen final medido en la probeta, el cual siempre fue menor a 10 mL (10 cm³).

La ρ_b final de la muestra se reportó como un intervalo de las densidades anteriores, con el fin de poder comparar los resultados con lo reportado en la literatura (Barbosa-Canovas y Yan 2003, Joshi *et al.* 2015, Kolawole O y Akinpelu S 2015)

e. pH

Se determinó preparando una suspensión de 10 g de en 100 mL de agua desionizada, acorde al método potenciométrico 943.02 de la AOAC (1997).

iv. Características de calidad de los productos horneados

a. *Diámetro, grosor y expansión de galletas*

El diámetro (\emptyset) y grosor (g) de las galletas se midió con un vernier en dos puntos distanciados 90 grados, ambos se promediaron y se obtuvo la medida final. El peso de las galletas se determinó utilizando una balanza electrónica (1mg precisión). El diámetro y el grosor se utilizan para calcular la expansión de las galletas, aquellas con mayor diámetro tendrán una mayor expansión; mientras que, si crecen aumentando su grosor, la expansión obtenida será menor. Esta medida de calidad puede ser tomada en cuenta dependiendo de las características deseables en el producto (Zucco *et al.* 2011, Jan *et al.* 2016).

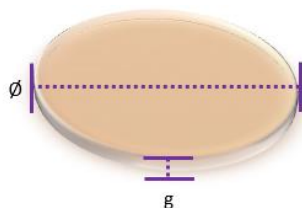


Figura 12. Diámetro y grosor medidos en galletas dulces

b. Volumen específico (cm^3/g) y altura del pan

La determinación del volumen específico del pan se efectuó mediante el método de desplazamiento de semillas 10-05 de la AACC (2001), el cual es empleado en productos secos y horneados. Para esto se elaboraron panes en moldes redondos de quequitos; ya que, esta forma facilitó la introducción del pan en la probeta sin que tocara sus paredes, a la vez de que permitió la distribución homogénea de las semillas. Se utilizó una probeta vidrio de 1000 mL y semillas de mijo.

Primeramente, cada pan se pesó y se midió el volumen inicial de las semillas en la probeta. Luego, se vació aproximadamente la mitad de las semillas para introducir el pan y posteriormente, se volvió a verter el resto de las semillas hasta cubrir el pan y rellenar todos los espacios entre el recipiente y el producto. Se midió el volumen final y se obtuvo por diferencia el volumen del pan, como se muestra a continuación. Por último, el volumen específico se calculó dividiendo el volumen entre la masa de cada pan.

$$[7] \quad \text{Volumen}_{\text{pan}} = V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}$$

donde V_{final} : volumen semillas + volumen pan, V_{inicial} : volumen semillas

$$[8] \quad \text{Volumen específico } (\text{cm}^3/\text{g})_{\text{pan}} = V_{\text{pan}} / \text{masa}_{\text{pan}}$$

donde $1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$.

Por otra parte, la altura del pan se estableció a partir del promedio de la medición de tres rebanadas de 2 cm de ancho de cada tipo de pan de molde medidas con un vernier.

c. Color

El color de los productos horneados se determinó con el colorímetro Colourflex de Hunter Lab Flex, calibrado previamente según las indicaciones del fabricante (Hunter 2013). Las condiciones

utilizadas fueron iluminación D65, un ángulo de observación de 10 °C y temperatura del cuarto de 19 °C. Las muestras, tanto las galletas como el pan, se trituraron con un mortero de porcelana y se colocaron en cajas de Petri plásticas, procurando una distribución homogénea y sin espacios libres. La medición se realizó según los parámetros L^* , a^* y b^* y resultados se reportaron como la luminosidad (L^*), el ángulo de color en grados ($^{\circ}$ Hue) y la saturación (C^*).

d. Propiedades reológicas de galletas y pan de molde

Para la medición de esta propiedad reológica se utilizó el analizador de textura TA. XTPlus de Stable Microsystems. Las condiciones utilizadas en ambas pruebas se muestran en el Cuadro XIII y se definieron mediante un experimento previo con cada producto.

En el caso de las galletas se ejecutó una prueba de compresión utilizando el aditamento tipo guillotina con el lado no filoso. Dicha prueba permite medir los parámetros de fracturabilidad (fuerza a la que el alimento empezó a quebrarse en $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$) y dureza (fuerza máxima a la que el producto se quebró totalmente en $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$) (Torres *et al.* 2015). Las galletas se colocaron directamente en el plato del texturómetro en posición central y el ensayo se llevó a cabo el mismo día de su elaboración.

Para el pan de molde, se efectuó un análisis de perfil de textura (TPA), el mismo día se su preparación, utilizando rebanadas de pan de 2 cm de ancho, sin corteza y una celda cilíndrica 25 mm. La compresión se realizó en dos ciclos y se obtuvo los datos para la dureza (máxima altura de la primera compresión), elasticidad, cohesividad (razón de las áreas entre la primera y segunda compresión) y masticabilidad de la miga del pan.

Cuadro XIII. Condiciones utilizadas para la medición de las propiedades reológicas de los productos horneados con el texturómetro TA. XTPlus.

Condición	Compresión de galletas	TPA de pan de molde
Velocidad previa	1,50 mm/s	300,0 mm/min
Velocidad de la prueba	3,00 mm/s	60,0 mm/min
Velocidad posterior	10,00 mm/s	60,0 mm/min
Modo	Distancia	Distancia
Distancia	2,00 mm	10,00 mm
Tiempo	No aplica	0,0833 min
Tipo de aditamento	Fuerza (auto)	Fuerza (auto)
Fuerza de aditamento	20,0 g	20,0 g

v. Prueba sensorial de agrado

Los panelistas se invitaron por medio de afiches visuales con el requerimiento de que les atrajera el consumo de los productos mencionados y no celiacos; ya que, no se garantizó la ausencia de partículas de gluten en las muestras. Para esto, se reclutó un grupo de 112 consumidores para cada producto según lo recomendado por Hough *et al.* (2006). Primero se llevó a cabo el panel de galletas y una semana después se realizó el del pan de molde.

Las galletas se presentaron enteras; mientras, que al pan se le cortó la corteza y los bordes y se sirvieron rebanadas de 2 cm de ancho y 3 cm de largo. Todas las muestras se presentaron codificadas, balanceadas y en orden aleatorio. La evaluación se realizó en cabinas individuales utilizando luz roja para enmascarar las diferencias de color entre tratamientos. A los panelistas se les indicó probar el producto respectivo y evaluarlo según su agrado general marcando con una línea vertical a lo largo de una escala híbrida, como la de la Figura 13, mediante el programa Fizz. Además, dentro de las instrucciones se les solicitó realizar dos enjuagues con agua después de probar cada muestra y expectorarlos en un vaso para desechos.

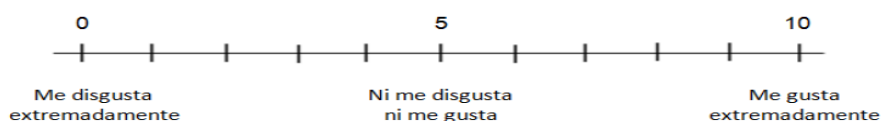


Figura 13. Escala híbrida utilizada para los paneles sensoriales de agrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Análisis del tamaño de partícula

Lo primero que se realizó para caracterizar el subproducto de maíz fue la determinación de su tamaño de partícula, así se obtuvo las curvas de distribución de tamaño de la Figura 14. En total se analizaron cuatro lotes, uno de ellos se utilizó durante las pruebas preliminares (denominado lote 0) y posteriormente se analizaron los lotes 1, 2, y 3, este último se adquirió de un proveedor distinto por razones de disponibilidad. Se encontró que los cuatro lotes presentaron distribuciones heterogéneas debido a la amplitud de sus curvas respecto al eje X y a la existencia de dos campanas diferenciadas para cada uno. En concordancia con Fernández-Muñoz *et al.* (2008), al producir harinas de maíz se genera una gama de tamaños de partícula y, en específico, los residuos del proceso son mezclas.

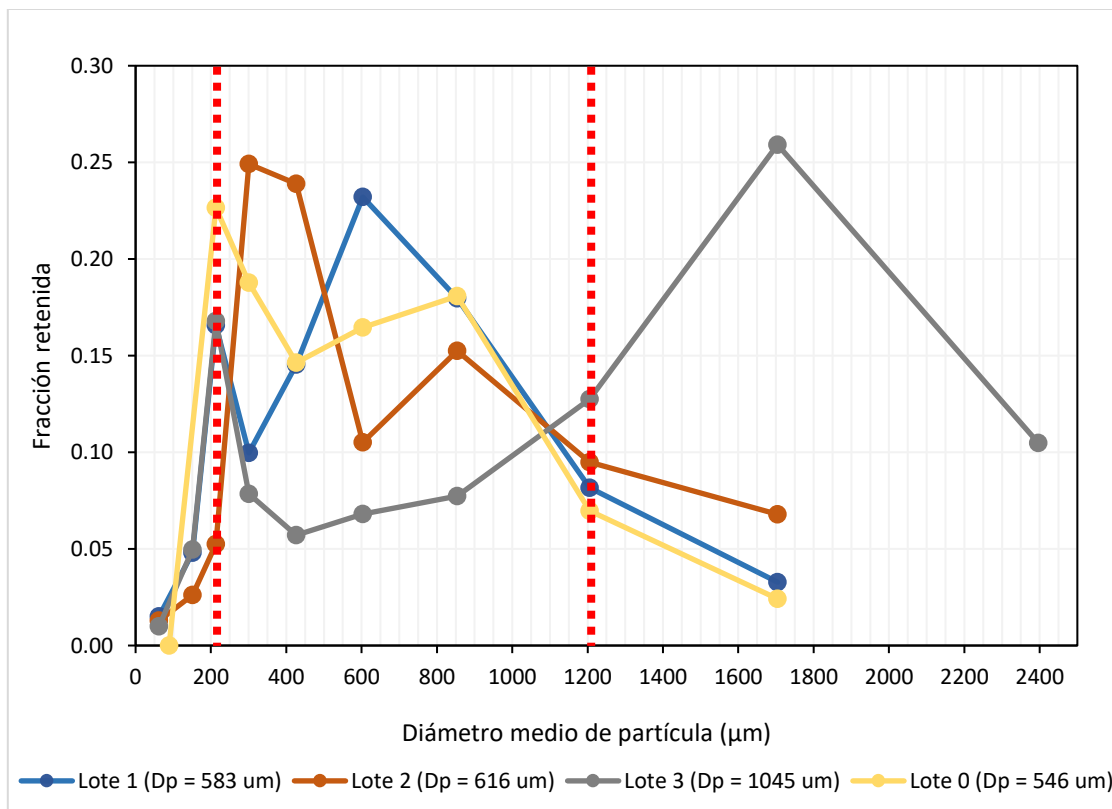


Figura 14. Curvas de distribución de tamaño de cuatro lotes de subproducto de maíz obtenidas por el método de tamices según el análisis diferencial.

Según la clasificación de los productos de la molienda seca del maíz (Cuadro IV) las partículas finas tienen un tamaño menor a 297 μm , las intermedias van de los 297 μm – 1410 μm y las gruesas son mayores a los 1410 μm (Barbosa-Canovas y Yan, 2003). Por lo que, las distribuciones de frecuencia indican que existe una proporción baja de partículas finas y otro grupo pequeño con partículas gruesas; además, de un grupo mayoritario con partículas intermedias.

El diámetro medio del subproducto fue similar para los lotes 0, 1 y 2, con tamaños de 546 μm , 583 μm y 616 μm respectivamente. De allí, el diámetro medio del subproducto del proveedor 1, fue de 582 μm . Por otra parte, el lote 3 presentó un tamaño medio de 1045 μm , en el cual inclusive se pudo encontrar granos de maíz quebrados dentro de la mezcla. Se considera normal que las distribuciones de tamaño de las harinas y sus subproductos varíen un poco debido a que dependen de muchos factores, como lo son el tipo de molino y las características del grano (dureza, genética, condiciones ambientales) (Lu y Lin 2001, Bolade 2009, Mandala y Rosell 2015). Sin embargo, el lote 3 resultó notablemente diferente debido a que fue obtenido de un proveedor distinto. Esto revela la importancia del control de calidad de las materias primas, pues si se utilizara un producto sin las especificaciones necesarias los resultados finales de un producto o proceso se verían afectadas.

Considerando la variabilidad de tamaño entre los lotes y que para elaborar productos de repostería se requerían diámetros intermedios, se decidió trabajar con las seis fracciones de la Figura 15, estas fueron las más representativas y las de mayor rendimiento de todos los lotes (Cuadro XIV) y abarcaron los tamaños desde los 213 μm hasta los 1205 μm (zona delimitada por las líneas rojas de la Figura 14). Cabe indicar que los tamaños de partícula fuera de dicho ámbito no se tomaron en cuenta para los análisis posteriores.

Cuadro XIV. Principales fracciones del subproducto de maíz según su tamaño medio de partícula y rendimiento.

Fracción	Díámetro medio (μm)	Rendimiento (%) *
1	1205	10
2	853	16
3	603	15
4	427	14
5	301	15
6	213	14

*calculado como el rendimiento promedio de los lotes 0, 1 y 2.



Figura 15. Ilustración de las principales fracciones del subproducto según los tamaños del Cuadro XIV.

Existen pocos reportes donde se analice el tamaño de partícula del subproducto de maíz; no obstante, Fernández-Muñoz *et al.* (2016), encontraron cinco fracciones con tamaños entre 595 μm y 149 μm para el maíz molido; es decir, fueron más finas que las del subproducto. Al comparar los tamaños de partícula con la clasificación Cuadro IV, las fracciones obtenidas se pueden catalogar

como sémola regular (1205 μm y 853 μm), sémolas finas (603 μm , 427 μm y 301 μm) y semolina (213 μm) (Barbosa-Cánovas y Yan, 2003).

Según Lezama (2015), el tamaño recomendado de productos particulados para productos horneados es de 420 μm ; mientras, que otros autores indican un intervalo de 638 μm – 194 μm o menos (Serna-Saldivar et al. 2001, Barbosa-Canovas y Yan 2003). Por lo anterior, las fracciones clasificadas como sémola regular (1205 μm y 853 μm), se molieron para acondicionarlas para su uso en productos de repostería y se determinó su tamaño de partícula final como se indica en el Cuadro XV. De allí se puede notar que se logró reducir el diámetro original a un diámetro final cercano a 450 μm para ambas fracciones, con mayor reducción de tamaño y rendimiento para la fracción de 853 μm .

Sin embargo, la distribución de tamaño de la Figura 16 indica que aun después de la molienda persistió una proporción de partículas con tamaño superior a los recomendados para repostería. Según Fernández-Muñoz *et al.* (2016), la mezcla de partículas finas y gruesas podría ser de utilidad pues la flexibilidad y la cohesividad de los productos dependen de las partículas más finas; mientras que, las partículas más gruesas promueven la sensación de crujencia. Por lo anterior, se debe considerar la percepción a nivel sensorial de dichas fracciones, lo cual se discutirá más adelante.

Cuadro XV. Diámetro promedio (D_p) inicial y final de las fracciones reducidas en molino de martillos, su razón de reducción de tamaño y rendimiento

Fracción según el N° de tamiz	D_p inicial (μm)	D_p final (μm)*	Razón de reducción de tamaño (%) *	Rendimiento *
18	1205	452	37,5	81,5
25	853	455	53,3	88,8

*calculado con el promedio de 3 lotes.

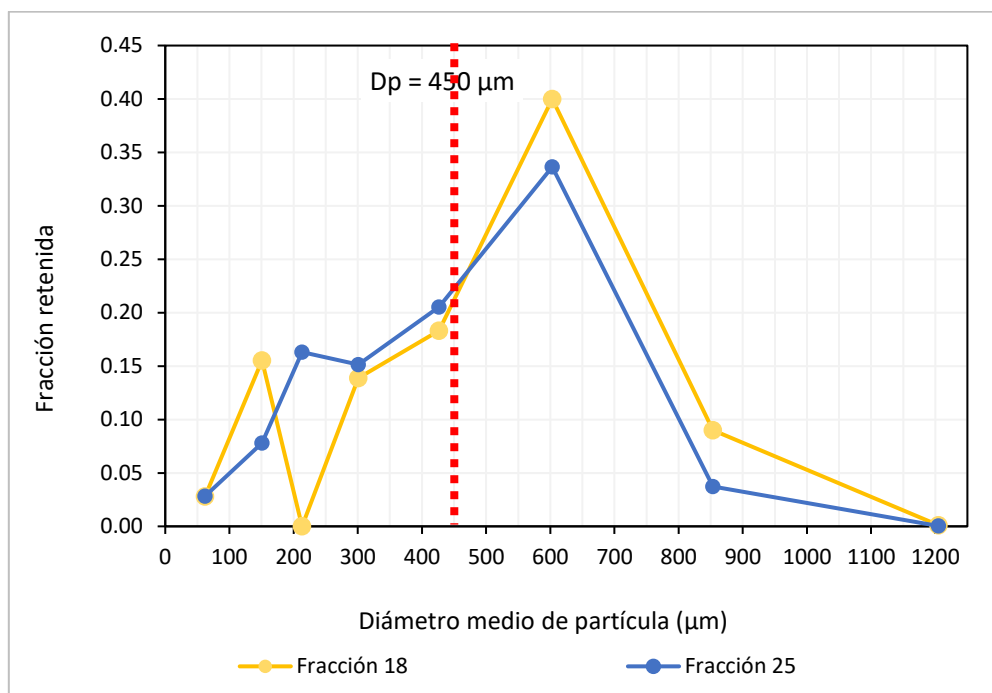


Figura 16. Curvas de distribución de tamaño de las fracciones de los tamices 18 (1205 µm) y 25 (853 µm) molidas con molino de martillos.

B. Composición química

La composición química del subproducto sin fraccionar se muestra en el Cuadro XVI, de allí se puede notar que el almidón fue su componente mayoritario, seguido de la fibra dietética. Al comparar dicha composición con la de otros cereales (Cuadro III) se puede notar que este subproducto posee mayor contenido de grasa, similar al de la avena, alto nivel de fibra dietética y un porcentaje de proteína similar al de otros granos; a pesar, de considerarse un subproducto.

Cuadro XVI. Composición química del subproducto de maíz sin fraccionar (n=3)

Macronutriente	g/100g (base seca)
Humedad	10,3 ± 1,3
Grasa	5,2 ± 0,1
Proteína	7,9 ± 0,5
Fibra dietética total	12,9 ± 1,2
Almidón total*	56,7 ± 9,4

*con menos de 3% de almidón resistente del total con base en el análisis de fibra dietética por el método enzimático.

Los valores obtenidos fueron muy similares a lo reportado por Malumba *et al.* (2015) para la harina entera de maíz y se notó mayor cantidad de fibra dietética y menor porcentaje de almidón en comparación con la harina de maíz regular (fibra menor al 8% y almidón mayor 60%) (Flores-Farías *et al.* 2002, Hoyos y Palacios 2015, Rosentrater y Evers 2018).

Durante la molienda las estructuras anatómicas del grano se separan y la cascarilla se suele eliminar primero debido a que se produce una línea de debilitamiento entre las células externas e internas del pericarpio lo cual facilita esta operación (Edel y Rosell 2007, Fernández-Muñoz *et al.* 2008). Así durante este proceso se obtiene la harina de maíz y por otro lado los restos (este fue el subproducto que se utilizó en el presente estudio), los cuales incluyen partes del salvado, germen y algunas partículas remanentes de almidón (Serna-Saldivar *et al.* 2001, Molinares 2002).

La literatura indica que luego de la molienda de los granos, todos los macronutrientes se distribuyen heterogéneamente entre las diferentes fracciones (Autio y Salmenkallio-Marttila 2003, Malumba *et al.* 2015). Sin embargo, al fraccionar el subproducto, la humedad, la grasa y la proteína no presentaron cambios significativos. Por el contrario, se vio que, al disminuir el tamaño, disminuyó la cantidad de fibra dietética; mientras que el almidón total aumentó, ver Cuadro XVII.

Cuadro XVII. Composición química de diferentes fracciones del subproducto de maíz expresada en base seca

Diámetro medio de partícula (μm)	Humedad ¹ (g/100g)	Grasa ¹ (g/100g)	Proteína ¹ (g/100g)	Fibra dietética (g/100g)	Almidón total ² (g/100g)
1205	9,7 \pm 2,0	6,6 \pm 2,0	9,9 \pm 1,9	24,1 \pm 3,5 a	48,0 \pm 9,2 ab
853	9,5 \pm 1,6	6,4 \pm 1,6	10,0 \pm 1,6	23,7 \pm 3,2 a	48,9 \pm 9,9 ab
603	9,6 \pm 1,5	7,3 \pm 2,8	9,6 \pm 1,4	22,1 \pm 6,0 a	45,4 \pm 11,6 b
427	9,9 \pm 1,8	6,8 \pm 2,4	9,1 \pm 1,7	21,8 \pm 8,8 a	52,1 \pm 11,1 ab
301	9,9 \pm 1,7	6,8 \pm 3,4	8,0 \pm 2,5	12,8 \pm 9,2 ab	59,6 \pm 17,1 ab
213	9,8 \pm 1,0	5,4 \pm 2,5	9,4 \pm 4,1	7,4 \pm 4,6 ab	65,9 \pm 13,2 a

Promedios (n=3) en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Tukey, promedios sin letra no presentaron diferencia significativa ($\alpha = 0,05$).

1: Ver potencia de la prueba en Cuadro XXXIX.

2: Menos de 3% fue almidón resistente con base en el análisis de fibra dietética por el método enzimático.

La fibra se concentra en el salvado (Palka 2006, Ragaee *et al.* 2013) y según lo encontrado por Malumba *et al.* (2015) este se encuentra en las fracciones con tamaño superior a los 400 μm en la harina entera de maíz; es decir, en las fracciones de 1205 μm , 853 μm , 603 μm y 427 μm . No

obstante, se obtuvo como máximo un 24% de dicho componente. Con estos resultados se puede inferir que:

- Podría existir una operación previa de descascarillado, donde se haya eliminado parte del salvado y se estaría descartando gran parte del componente con mayor cantidad de fibra.
- El subproducto analizado cuenta con una alta cantidad de almidón proveniente del endospermo debido a un proceso de separación deficiente.

Ahora bien, la humedad de todas las fracciones se mantuvo por debajo del 12%. Dicho nivel de humedad cataloga las fracciones como productos estables a temperatura ambiente y se explica por el proceso de secado al que se sometieron para su estabilización. Este resultado fue similar a lo reportado por Hassan *et al.* (2016), Navarro Cortez *et al.* (2016) y Yin *et al.* (2017) para el maíz.

Por otra parte, la grasa fue el macronutriente que se encontró en menor cantidad; lo cual, concuerda con los estudios de Willis y Okos (2003). Se vio que en este subproducto existió mayor cantidad de lípidos que en la harina de maíz desgerminada (1,4%) (Yuan y Flores, 1996) y que en el maíz en grano es 3,5% (Autio y Salmenkallio-Marttila 2003); pero, fue menor al 13,6% de grasa que se reporta en la fracción rica en germen de la harina de maíz entera (Malumba *et al.* 2015) y menor al 33% de lípidos en el germen (Sánchez 2014). Lo anterior quiere decir si bien existe una cantidad de germen en las fracciones, su presencia es poca. No obstante, la grasa es vital en el desarrollo de la estructura, del sabor y de la textura de los productos elaborados con cereales por lo cual su existencia en el subproducto de maíz resulta favorable (Willis y Okos 2003).

En cuanto a la proteína, no se observó diferencias significativas con el tamaño de partícula. Las fracciones presentaron en promedio cerca de 9,33% de proteína, lo cual concuerda con los valores reportados por Yuan y Flores (1996) para el maíz amarillo. La proteína es importante en la elaboración de productos horneados; ya que, forma parte de su estructura y define en gran parte las propiedades tecnológicas de los productos (Willis y Okos 2003, Pincioli 2010).

Al comparar el contenido de fibra dietética de las fracciones del subproducto mayores a los 427 μm con el de la harina de trigo integral (12,2%), la harina de centeno integral (22,6%), la avena integral comercial Bioland (10%) y el salvado de avena (15,4%) (Edel y Rosell 2007), se puede notar

que el subproducto presentó una cantidad similar o mayor de fibra, esto debido a la presencia de salvado. Por otro lado, estudios sobre subproductos de coco, pejibaye y piña reportan porcentajes superiores al 60% de este componente, cantidad que se considera muy alta (Raghavendra *et al.* 2006, Mayorga 2013, Armijo 2014).

Por lo tanto, la cantidad de fibra encontrada en las fracciones del subproducto de maíz fue mayor en comparación con otros cereales; pero, fue baja en relación con otras materias primas muy altas en fibra. Adicionalmente, el subproducto de maíz aporta proteína y grasa, los cuales normalmente no se encuentran en residuos de fibra y también posee un alto contenido de almidón, el cual es un componente tecnológico de importancia.

El almidón fue el componente mayoritario de todas las fracciones analizadas. Su contenido aumentó conforme disminuyó el tamaño de partícula. Yuan y Flores (1996), reportan 61% de almidón para el maíz amarillo, el cual es cercano a la cantidad de almidón presente en las fracciones de 427 μm , 301 μm y 213 μm ; sin embargo, el almidón en las fracciones más gruesas fue menor (de 45% a 50%).

De acuerdo con Malumba *et al.* (2015), la mayor parte del almidón se concentra en las fracciones menores a 400 μm , lo cual explica dicha tendencia. Según Foschia *et al.* (2016), nutricionalmente, la presencia de almidón puede ser ventajosa en algunos PLG cuando se trata de almidón resistente; sin embargo, como su cantidad fue menor al 3% (la mayor parte consistió en almidón soluble) para todas las fracciones y para la muestra sin fraccionar, en este caso no sería un aspecto beneficioso.

En el Cuadro XVIII se indica la composición de las harinas sin gluten utilizadas para elaborar galletas y pan. De allí se puede notar que la composición química del subproducto fue superior a las mismas. Además, el fraccionamiento del subproducto permitió conocer que el almidón se concentra en las fracciones de 301 μm y 213 μm ; por lo que, su separación permitiría disminuir el contenido de almidón concentrando la proporción de fibra dietética. Esto conllevaría a mejorar el valor nutricional del subproducto, tal como lo recomiendan Serna-Saldivar *et al.* (2001).

Cuadro XVIII. Composición nutricional de las harinas comerciales de arroz y yuca marca Jinca Foods

Harina	Carbohidratos (%)	Fibra (%)	Grasa (%)	Proteína (%)
Arroz	80	2,5	1,5	6,0
Yuca	82	2,0	0,5	2,0

C. Propiedades tecnológicas

En la Figura 17 se muestran los resultados de la capacidad de absorción de aceite (CAA) y de la capacidad de retención de agua (CRA). Se puede apreciar que, a menor tamaño de partícula del subproducto, disminuyeron levemente ambas propiedades tecnológicas. Muchos estudios reportan que el contenido de proteína está asociado a un incremento en la CRA; sin embargo, debido a que este componente se encontró de forma constante entre las fracciones, no se justifica su efecto sobre las propiedades tecnológicas (Edel y Rosell 2007).

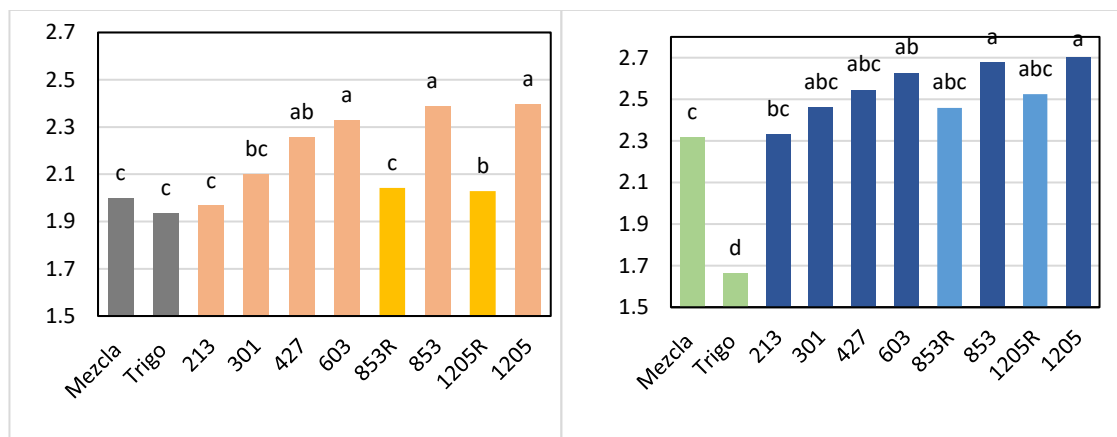


Figura 17. Capacidad de absorción de aceite (izquierda) y capacidad de retención de agua (derecha) de fracciones del subproducto de maíz y harinas de referencia.

(18: 1205 μm , 25: 853 μm , 35: 603 μm , 45: 427 μm , 60: 301 μm , 80: 213 μm , 18R: 18 reducida, 25R: 25 reducida, Mezcla: harina arroz:yuca [50:50], trigo: harina de trigo comercial todo propósito)

Letras diferentes indican diferencia significativa para la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Más bien, este comportamiento se pudo deber al menor contenido de fibra en las fracciones con diámetros medios más pequeños, pues esta favorece la retención de agua y la atracción capilar de lípidos (Serna-Saldivar *et al.* 2001, Armijo Montes 2014, Shuang-kui *et al.* 2014, Hoyos y Palacios 2015). Aguilera (2009) encontró que existe una correlación positiva entre el contenido de fibra de

harinas de leguminosas y la CRA. Edel y Rosell (2007) indican que la fibra, en especial los pentosanos, absorbe mayor cantidad de agua que las proteínas y el almidón y Mayorga (2013), encontró que un subproducto de piña con 70% de fibra dietética retuvo hasta 13,2 g de agua por gramo de fibra.

Además, la reducción de tamaño de las partículas afectó ambas cualidades, con mayor influencia sobre la CAA, pues las muestras molidas de los tamices 18 y 25 y las fracciones de 301 μm (60) y 213 μm (80) presentaron menor CAA que las demás con diferencias significativas. La disminución en ambas propiedades se puede explicar por el cambio en la estructura de la fibra luego de la molienda, la cual cambia de una matriz tipo panal a una de cinta plana (como se ilustra en la Figura 18), colapsando los poros para el atrapamiento físico de las sustancias (Raghavendra *et al.* 2006, Mayorga 2013). Por otro lado, la disminución de la CAA a menor tamaño de partícula difiere con lo encontrado por dichos autores.

En otros estudios se reporta que a menor tamaño de partícula, la CRA tiende a aumentar debido a que en las fracciones más finas existe mayor área superficial y proporción de almidón dañado para enlazarse con el agua (Tanhehco y Ng 2008, Dayakar Rao *et al.* 2016). Sin embargo, los cambios en la estructura de la fibra que se muestran en la Figura 18 podrían explicar que el atrapamiento de agua y aceite del subproducto se da a través de medios físicos (capilaridad) y no tanto por fuerzas intermoleculares (Lamus y Barrera-Arellano 2005, Venugopal 2011, Shuang-kui *et al.* 2014, Kolawole y Akinpelu S 2015, Julianti *et al.* 2017).

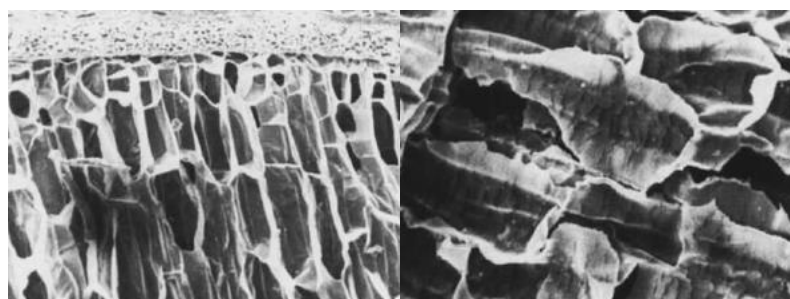


Figura 18. Estructura de la fibra antes y después de la molienda, donde la imagen de la izquierda es tipo panal y la derecha es una estructura plana

Fuente: Adaptado de Raghavendra *et al.* 2006.

Se pudo notar que la CRA fue mayor que la CAA, de forma similar a lo obtenido por Shobha *et al.* (2014), lo que indica que el carácter de las fracciones estudiadas fue más hidrofílico que

hidrofóbico (Mayorga 2013, Chaparro *et al.* 2014, Shobha *et al.* 2014). Ahora bien, no hubo diferencias significativas en la CRA, ni CAA para las fracciones de los tamices 18, 25, 35 y 45 (con tamaños entre 1205 μm – 427 μm), pero disminuyó en las fracciones de los tamices 60 y 80 (de 301 μm – 213 μm). Dicha tendencia se puede explicar de dos formas, una porque se da el deterioro de la matriz de la fibra e impide el atrapamiento físico a partir de los 550 μm o menos (Rahavendra *et al.* 2006) y porque la fibra atrapa agua y aceite y las fracciones con mayor contenido fueron las de tamaños mayores a 427 μm (Cuadro XVII).

En comparación con la mezcla de arroz:yuca (50:50), se evidenció que todas las fracciones del subproducto, excepto la fracción del tamiz 80 (213 μm), presentaron mayores propiedades de CRA y CAA. Lo anterior, se justifica por su similitud tanto en composición química, como en tamaño de partícula, el cual ronda los 262 μm en la harina de arroz y es menor a los 100 μm para la harina de yuca (Quirós 2013). De esta forma, se puede afirmar que la separación y eliminación de la fracción de 213 μm (tamiz 80) permitiría mejorar el perfil del subproducto en cuanto a las propiedades tecnológicas.

Por otra parte, la harina de trigo presentó menor capacidad en ambas propiedades, lo cual señala que tanto el subproducto como la mezcla de arroz:yuca son materias primas promisorias para la elaboración de productos horneados y que podrían inclusive mejorar las características de calidad en ellos. El uso de materias primas con alta CRA en productos de baja humedad como las galletas podría provocar que el alimento tienda a absorber humedad del ambiente y se suavice; por lo que, se debe escoger adecuadamente un empaque que prevenga su deterioro. Por el contrario, en el caso del pan, una mayor CRA favorecería la vida útil del mismo; ya que, disminuiría su velocidad de añejamiento (Edel y Rosell 2007).

En la Figura 19 se muestra una imagen del mezclado durante la elaboración del pan. A la derecha se puede notar la formación de una mezcla chiclosa y adhesiva en una formulación con harina de yuca y arroz con menor CRA y CAA. En este caso se realizaron las etapas de mezclado 2 y 3 que se especifican en el diagrama de flujo de la Figura 8. La masa de la derecha fue elaborada con una sustitución de 50% de una fracción más gruesa (con mayores CRA y CAA); en este caso el mezclado 2 no se pudo completar debido a la formación de la masa seca y muy cohesiva como lo

muestra la imagen; por lo que, se tuvo que añadir el agua durante esta misma etapa para favorecer el mezclado. Lo anterior, permite conocer que la CRA y CAA de las harinas influye en la cohesión y adhesividad de las masas. Por lo que, la cantidad de agua con la que se preparan y las condiciones de mezclado deben ser óptimos durante su elaboración (Rodríguez 2014, Del Valle 2015).



Figura 19. Características de las masas de pan durante el mezclado. A la izquierda se muestra una masa a base de harina de yuca y arroz (50:50) (con aceite, huevos y agua) y a la derecha una masa con 50% de subproducto de maíz de 530 μm (con aceite y huevos)

Seguidamente se muestran los resultados de la capacidad de formación de espuma (CFE) y la estabilidad de la espuma (EE), a partir de los cuales fue evidente que las fracciones del subproducto no fueron apropiadas para formar espuma y la poca que formaron, tampoco fue estable en el tiempo; a diferencia de la clara de huevo, la cual es un material reconocido por esta capacidad (Belitz *et al.* 2009). Como se ilustra en las Figuras 20 y 21, incluso la mezcla de arroz:yuca y la harina de trigo presentaron mejores CFE y EE. (Ver Anexos, Cuadro XLI y Figura 26 para los valores numéricos y observados).

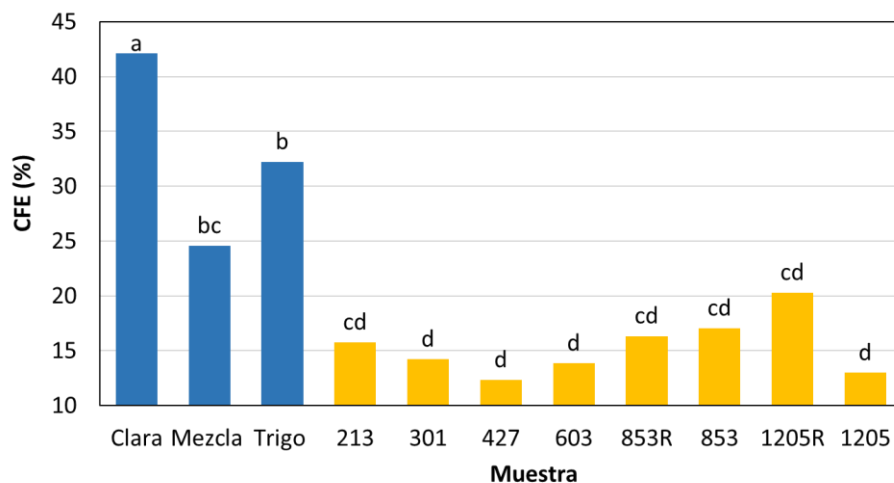


Figura 20. Capacidad de formación de espuma de las fracciones del subproducto de maíz y productos de referencia.

(18: 1205 μm , 25: 853 μm , 35: 603 μm , 45: 427 μm , 60: 301 μm , 80: 213 μm , 18R: 18 reducida, 25R: 25 reducida, Mezcla: harina arroz:yuca [50:50], trigo: harina de trigo comercial todo propósito)

Letras diferentes indican diferencia significativa para la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

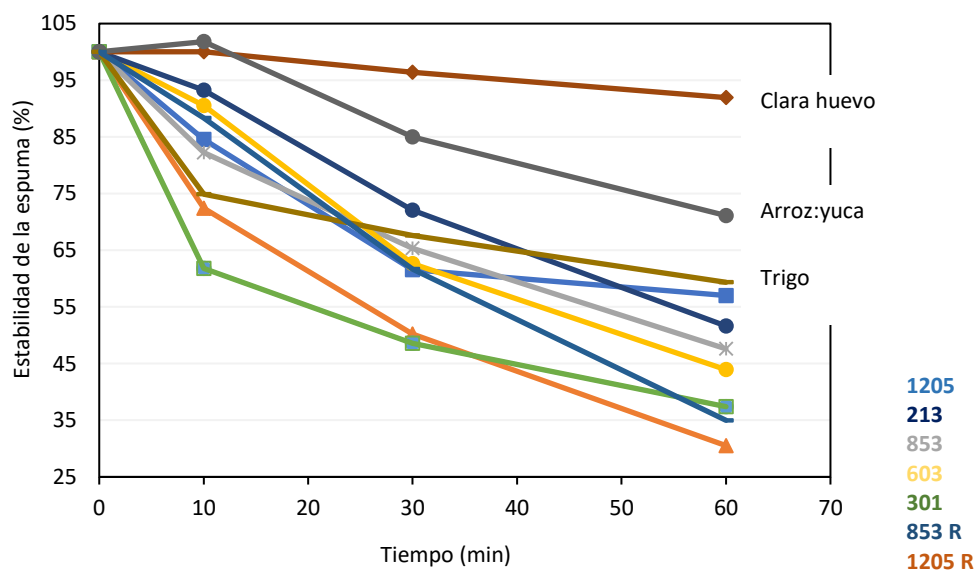


Figura 21. Estabilidad de la espuma (EE) de las diferentes fracciones del subproducto de maíz y productos de referencia medida en diferentes tiempos

(18: 1205 μm , 25: 853 μm , 35: 603 μm , 45: 427 μm , 60: 301 μm , 80: 213 μm , 18R: 18 reducida, 25R: 25 reducida, Mezcla: harina arroz:yuca [50:50], trigo: harina de trigo comercial todo propósito)

La deficiente CFE y EE se puede explicar por la cantidad limitada de proteínas en las fracciones del subproducto; así, como por la carencia de un balance hidrofílico-hidrofóbico; en otras palabras, un deficiente carácter anfílico de los componentes, el cual se considera vital para disminuir la tensión interfacial en una suspensión con moléculas de aire (Shuang-kui *et al.* 2014, Miquilena *et al.* 2016). También se podría sospechar que la fibra dietética pudo formar complejos con las proteínas interfiriendo así con las burbujas de aire (Edel y Rosell 2007).

Según Edel y Rosell (2007), las harinas con escasa CFE producen panes aplanados y muy densos; por lo que, la sustitución con cualquier fracción del subproducto podría repercutir negativamente en el volumen de los productos de panificación. Por lo anterior, se recomienda la inclusión de agentes formadores de espuma en las formulaciones. Además, llama la atención que la EE de la mezcla de harina de arroz:yuca fue mayor que la de la harina de trigo, lo cual indica la idoneidad de la primera para productos de repostería (Miquilena *et al.* 2016). De aquí se puede inferir que hacer una mezcla de harina de arroz y yuca con el subproducto de maíz podría afectar la estabilidad de la retención de aire en productos que requieran volumen.

En el Cuadro XIX, se muestran los resultados de la densidad *bulk* (ρ_b) para las diferentes fracciones del subproducto y las harinas de referencia (ver Anexos, Cuadro XL para el análisis de varianza que indica que hubo diferencias significativas entre las muestras). La densidad de las fracciones del subproducto varió entre $0,51 \text{ g/cm}^3 - 0,80 \text{ g/cm}^3$. Barbosa-Canovas y Yan (2003) indicaron un intervalo de $0,5 \text{ g/cm}^3 - 0,7 \text{ g/cm}^3$ para la harina de maíz; mientras que Shobha *et al.* (2014) de $0,50 \text{ g/cm}^3 - 0,65 \text{ g/cm}^3$, de manera que los resultados obtenidos fueron similares.

Cuadro XIX. Densidad bulk (g/cm^3) y pH de las diferentes fracciones del subproducto de maíz y productos de referencia.

Producto o fracción	Densidad <i>bulk</i> (g/cm^3)*	pH
1205 μm	0,51 – 0,59 d	5,96 b
1205 μm reducida	0,68 – 0,81 ab	6,15 ab
853 μm	0,53 – 0,60 d	5,97 b
853 μm reducida	0,68 – 0,81 ab	6,19 a
603 μm	0,57 – 0,66 c	6,04 ab
427 μm	0,57 – 0,69 bc	6,05 ab
301 μm	0,59 – 0,70 bc	6,10 ab
213 μm	0,66 – 0,80 ab	6,12 ab
Harina arroz:yuca (50:50)	0,71 – 0,86 a	6,00 ab
Harina de trigo	0,70 – 0,84 a	5,17 c

*El intervalo corresponde a la densidad remecida y compactada respectivamente.

Promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Tukey, ($\alpha = 0,05$).

Área sombreada de menos oscuro a más oscuro implica mayor densidad

La fracción de 213 μm , 1205 μm reducida y 853 μm reducida, mostraron mayor densidad porque conforme las partículas son más finas, existen menos espacios disponibles entre ellas generando un volumen menor y también por la existencia de más enlaces expuestos en mayor área superficial (Barbosa-Canovas y Yan 2003, Barrera *et al.* 2012, Mandala y Rosell 2015, Dayakar *et al.* 2016). Además, sus densidades fueron semejantes a la mezcla de harina de arroz:yuca y a la harina de trigo debido a que su tamaño de partícula fue más semejante y porque contienen mayor cantidad de almidón, lo que las hizo más densas (Ferrerias 2009). La densidad también está relacionada de forma proporcional con la porosidad de un material, de manera que las fracciones con mayor cantidad de fibra (material más poroso) fueron las menos densas (Barbosa-Canovas y Yan 2003).

Las distintas densidades entre fracciones implican que estas podrían separarse industrialmente por otros métodos (como por ejemplo con corrientes de aire), con lo cual la operación de tamizado sería más eficiente y se evitaría la aglomeración de partículas finas en equipos como tolvas o tamices, en especial de la fracción de 213 μm , la cual siempre tenderá a acumularse en el fondo por su mayor densidad y menor tamaño de partícula (Barbosa-Canovas y Yan 2003).

En relación con el pH se vio que todas las muestras, excepto el trigo, exhibieron valores similares cercanos a 6. El pH reportado por Flores-Farías *et al.* (2002) fue de 6,5 en harinas de maíz comerciales y nixtamalizadas; mientras, que Shobha *et al.* (2014) indicaron 6,53; por lo que, los resultados obtenidos fueron ligeramente menores a estos, pero dentro del rango normal reportado para harinas. El valor menor de pH de la harina de trigo se debe a que típicamente es clorada u ozonificada para blanquearla o aumentar la fuerza del gluten, provocando un pH entre un rango de 4,5 a 5,2, esto se confirmó según los ingredientes declarados en la etiqueta del producto (Ver Anexos, Cuadro XXXVIII) (Edel y Rosell 2007, Tanhehco y Ng 2008).

El pH de las fracciones cercano a 6,0 indica que los grupos carboxílicos que constituyen los carbohidratos pueden aceptar protones y formar puentes de hidrógeno, lo que promueve la capacidad de hidratación. Otros componentes como los aminoácidos podrían estar cargados o no según su pKa; pero, en general, las asociaciones intermoleculares se pueden deber a que el estado de las proteínas favorece los puentes de hidrógeno (Belitz *et al.* 2009).

D. Elección de las fracciones y los porcentajes de sustitución para los productos horneados

Según los resultados anteriores se eligió realizar pruebas de sustitución en los productos horneados con las fracciones que se indican en el Cuadro XX. Las razones para la escogencia de estas fracciones se describen a continuación.

Cuadro XX. Fracciones elegidas y sus características para realizar pruebas de sustitución en productos horneados.

Fracción según tamiz	Diámetro medio de partícula (μm)	Propiedades tecnológicas	Composición química relativa
25	853 (superior al recomendado)	Mayor CRA y CAA	Alta cantidad de fibra dietética y menor contenido de almidón
35-45	530* (superior al recomendado)	CRA y CAA media	Alta cantidad de fibra dietética y menor contenido de almidón
60	301 (recomendado)	Menor CRA y CAA	Menor contenido de fibra dietética y mayor contenido de almidón

*calculado como el promedio entre 706 μm y 353 μm (lo que pasa el tamiz 25 y se retiene en el 45).

La fracción del tamiz 25 era adecuada en cuanto al contenido de fibra dietética y propiedades tecnológicas; pero, presentó la desventaja de tener partículas muy grandes. La combinación de las fracciones de los tamices 35 y 45 se propuso porque no difirieron significativamente en cuanto a propiedades tecnológicas ni en composición química y fueron favorables en cuanto al contenido de fibra dietética, CRA y CAA. Sin embargo, su tamaño de partícula fue mayor al recomendado por Lezama (2015).

Por último, la fracción del tamiz 60 se escogió porque, a pesar, de no presentar las mejores propiedades tecnológicas ni contenido de fibra dietética, presentó un tamaño favorable para productos horneados el cual podría permitir utilizar porcentajes de sustitución altos y así mejorar el perfil nutricional del producto. No se recomienda utilizar la fracción del tamiz 80 debido a su menor porcentaje de fibra dietética, bajo rendimiento y pobres propiedades tecnológicas.

Para la definición de los porcentajes de sustitución se tomó como referencia algunos estudios donde trabajaron con 20% y 30% de pericarpio de maíz micronizado (Granito y Guerra 1995, 1997, Guerra *et al.* 1998, Hernández *et al.* 1999a, 1999b, Torres *et al.* 2009, Taghdir *et al.* 2017). Por otra parte, para que un producto se pueda declarar como con “fuente de fibra” su contenido debe representar al menos un 3% de su composición (RTCA 67.01.60:10 s/f, CODEX CAC/GL 23 - 1997)¹, esto se lograría con un porcentaje mínimo de 30% en galletas y 40% en pan (calculado con las fracciones de 530 μm).

De dicha forma, se eligió realizar una prueba de galletas con un porcentaje alto de sustitución (40%) y otro bajo (10%), así como un control. Las mismas se degustaron en un panel informal y se notaron las siguientes características:

- **Control (0% sustitución):** la textura fue muy suave, la galleta se deshizo en la boca y fue muy boronosa y seca. El sabor general fue agradable.
- **10% - fracción 853 μm :** fue muy arenosa y muy seca, a la vez que se desmoronó un poco menos que el control. El sabor general fue agradable.

¹ Entendiendo contenido “básico” como “fuente de” según lo reporta Foschia *et al.* (2016).

- **40% - fracción 853 μm :** fue muy arenosa y muy seca; por lo que, costó mucho humedecerla en la boca, pero fue más crujiente que con 10% y no se desmoronó como las dos anteriores. El sabor general fue agradable.
- **10% - fracción 301 μm :** no se desmoronó tanto como el control, pero sí fue algo seca. El sabor general fue agradable.
- **40% - fracción 301 μm :** fue más crujiente que con 10% y fue menos boronosa. El sabor general fue agradable.
- **40% - fracción 530 μm :** No costó humedecerla en la boca, la textura fue crujiente más similar a una galleta comercial. El sabor general fue agradable.

Con la prueba anterior se vio que todas las sustituciones ayudaron a mejorar la textura de la galleta control porque evitaron que se desmoronaran fácilmente; además, aumentaron la crujencia, asemejándose más a una galleta comercial, efectos que concuerdan con lo indicado por Fernández-Muñoz *et al.* (2008). Por otra parte, se confirmó que el tamaño de partícula de 853 μm (tamiz 25) no fue apto para este tipo de alimentos pues la sensación bucal que dio no fue agradable e hizo que el producto fuera difícil de deglutir; por lo que, se descartó esta fracción.

En cuanto a los porcentajes de sustitución, un 40% produjo galletas con características todavía aceptables; por lo que, se decidió hacer otra prueba con 50% con el fin de encontrar una cantidad límite sin repercutir sobre las cualidades sensoriales. Además, se decidió otro tratamiento sustituyendo hasta el 30% para asegurar un porcentaje menor que fuera suficientemente diferente al 50% y que a la vez aportada alta cantidad de fibra. De este modo, se elaboraron galletas y pan de molde con estas fracciones y sustituciones (Cuadro XX) y se llevó a cabo otro panel sensorial informal para determinar sus características.

Cuadro XXI. Características de productos horneados para definir los porcentajes de sustitución

Tratamiento	Galletas	Pan de molde
Control	Tuvo ligero sabor a arroz, fue más boronosa, costó humedecerla, pero fue de sabor agradable.	Fue de sabor agradable y se percibió como el más salado. Tuvo un ligero olor a huevo.
F30 (30% fracción 301 μm)	Se pareció más al tratamiento con 50% de la fracción de 530 μm . La textura y el sabor fueron agradables.	El sabor a maíz o dulce casi no se percibió y en general fue agradable. No se sintieron partículas
F50 (50% fracción 301 μm)	Se sintió más dulce y más suave que las fracciones más grandes. Se desmoronaron más fácilmente.	Su sabor fue ligeramente más dulce y a maíz. El sabor general fue agradable. No se sintieron partículas
G30 (30% fracción 530 μm)	Tuvo un ligero sabor a maíz y sabor más agradable que el control, fue un poco seca pero menos arenosa.	Presentó un sabor agradable y levemente más dulce, tuvo un color más amarillo y se le sintieron partículas.
G50 (50% fracción 530 μm)	Su sabor fue levemente más dulce, fue más crujiente pero más boronosa y con sensación de partículas.	Tuvo un ligero sabor a maíz, se sintió boronoso como en una chorreada pero sin ser desagradable

De acuerdo con las pruebas anteriores, se determinó utilizar 30% y 50% como porcentajes de sustitución de ambos productos con las fracciones de 301 μm y 530 μm , de los cuales se obtiene la composición nutricional teórica del Cuadro XXII, así la sustitución con el subproducto permitiría aumentar la cantidad de proteína, grasa y fibra dietética, con mayor efecto en este último componente. Según el RTCA 67.01.60:10 y el CODEX (CAC/GL 23 - 1997)², los productos con un contenido mínimo de 3 g/100g y 6 g/100g de fibra podrán llevar las declaraciones nutricionales de “fuente de” y “alto en” fibra respectivamente.

² Entendiendo contenido “básico” como “fuente de” según lo reporta Foschia *et al.* (2016).

Cuadro XXII. Composición nutricional de galletas y pan de molde a partir de su formulación teórica antes de hornear.

Producto	Tratamiento	Proteína (%)	Grasa (%)	CHO* (%)	Agua (%)	FD* (%)	Declaración nutricional sobre FD
Galletas	Control	2,82	17,80	61,97	15,93	1,24	Ninguna
	G30	3,67	18,52	55,94	15,37	4,45	Fuente
	G50	4,24	19,01	51,92	14,99	6,59	Alto
	F30	3,39	18,56	57,43	15,42	2,78	Ninguna
	F50	3,78	19,06	54,41	15,08	3,80	Fuente
	Control	5,34	8,34	34,57	47,93	0,83	Ninguna
Pan	G30	5,91	8,82	30,53	47,55	2,98	Ninguna
	G50	6,29	9,15	27,84	47,30	4,41	Fuente
	F30	5,72	8,85	31,53	47,59	1,86	Ninguna
	F50	5,98	9,19	29,50	47,36	2,54	Ninguna

*CHO: carbohidratos, FD: fibra dietética.

Así, los tratamientos G30, G50 y F50 en galletas y el G50 en pan podrían alcanzar dichas declaraciones sobre el contenido de fibra dietética. Además, se puede notar que los tratamientos F30 en galletas y el G30 y el F50 en pan podrían declararse como “con fuente de fibra” al aumentar un poco más el porcentaje de sustitución con las fracciones respectivas.

E. Resultados de la elaboración de galletas sin harina de trigo

i. Características de calidad de las galletas horneadas (masa final, diámetro, grosor y expansión)

Como se mencionó en la metodología, para el moldeado de las galletas se utilizó una laminadora industrial con una altura de rodillo de 4,5 mm que concede el grosor de las galletas crudas y un cortador manual de 38 mm de diámetro. Aunado a esto, por las características de la masa cruda (extensible y de fácil manipulación) fue posible lograr galletas con una masa inicial prácticamente homogénea entre todos los tratamientos, en una prueba preliminar se vio que el rendimiento de cocción de las galletas fue de 90%.

Según el Cuadro XXIII, únicamente se presentó diferencias significativas entre los tratamientos para la medida de la masa final ($p = 0,011$); sin embargo, la diferencia entre las medias de este parámetro fue pequeña. Por lo tanto, se puede concluir que la sustitución con el subproducto no afectó los parámetros de masa final, diámetro, grosor ni expansión de las galletas.

Cuadro XXIII. Resultados del análisis de varianza de las dimensiones y masa de las galletas horneadas con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.

Característica	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad*
Masa final	4	6,705	0,011
Diámetro	4	1,888	0,206
Grosor	4	3,181	0,077
Expansión	4	2,928	0,092

*Efecto significativo $p < 0,05$

Según el Cuadro XXIV, en comparación con las dimensiones iniciales de las galletas, se pudo notar que el diámetro de todos los tratamientos disminuyó sutilmente y se vio un ligero aumento en su grosor. Lo anterior se explica porque durante el horneado, las galletas desarrollan volumen debido a que se genera dióxido de carbono de la reacción del polvo de hornear con el agua y el calor. Además, no se expandieron pues su porcentaje de margarina fue bajo (30% panadero) y los lípidos son el componente que brinda expansión a las galletas (Indrani y Rao 2008, Tanhehco y Ng 2008, Tireki 2008)

Cuadro XXIV. Características de calidad de galletas horneadas sustituidas con subproducto de maíz

Tratamiento	Masa final (g)	Diámetro (mm)	Grosor (mm)	Expansión
C0	4,3 ± 0,3 ab	37,3 ± 0,4	6,0 ± 0,1	6,3 ± 0,4
F30	4,58 ± 0,05 a	37,5 ± 0,2	5,6 ± 0,1	6,7 ± 0,2
F50	4,1 ± 0,2 b	37,3 ± 0,2	5,4 ± 0,2	7,0 ± 0,3
G30	4,0 ± 0,2 b	37,3 ± 0,1	5,4 ± 0,1	6,9 ± 0,2
G50	4,3 ± 0,2 ab	37,1 ± 0,3	5,3 ± 0,2	7,0 ± 0,3

Promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba Tukey con un $\alpha = 0,05$. Promedios sin letra no presentaron diferencia significativa.

Según Tanhehco y Ng (2008), se espera que los componentes con mayor retención de agua o almidón dañado produzcan galletas de menor diámetro; no obstante, para esta matriz la incorporación de las fracciones no ocasionó dicho efecto, probablemente por la baja cantidad de agua en su formulación. En ese mismo sentido, como las fracciones de 530 μm retuvieron más agua que las de 301 μm y que la mezcla de arroz:yuca; se esperaría una mayor masa (por un mayor contenido de humedad) en las galletas sustituidas con dicha fracción (Zhou y Therdthai 2008, Rodríguez 2014). No obstante, los resultados del Cuadro XXIV no presentaron dicha tendencia. Lo que se vio fue que la masa de los tratamientos C0, F30 y G50 fue ligeramente mayor que la de las galletas F50 y G30.

Este resultado se puede explicar por la variabilidad en la transferencia de masa durante el proceso de horneado, debido a diferencias en la distribución de calor en el horno (Zhou y Therdthai 2008). Rodríguez (2014), realizó galletas con características similares a las estudiadas y encontró que, en las formulaciones con mayor cantidad de proteína, las masas exhibían mayor CRA y por ende, mayor consistencia, dando como resultado galletas de menor diámetro y altura; por lo que, este sería otro factor que podría causar un efecto en las características de calidad de las galletas.

Con respecto a la baja variación en todas las dimensiones de las galletas se puede establecer que el tipo de galletas elaboradas permitirían fabricar productos comerciales con características muy estandarizadas y la sustitución no afectaría el peso neto del producto empacado.

ii. Color

Los resultados del análisis de varianza del color en las galletas horneadas, Cuadro XXV, muestran diferencias significativas para la luminosidad y la saturación; pero, no para el ángulo de color.

Cuadro XXV. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de galletas con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.

Característica	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad*
Luminosidad	4	87,345	< 0,0001
°Hue	4	1,3319	0,3374
Saturación	4	11,459	0,0021

*Efecto significativo $p < 0,05$

Según el Cuadro XXVI, la luminosidad fue mayor para la galleta control y disminuyó con la sustitución, donde un 50% tuvo más efecto que 30%. Esto se debe a que a mayor contenido de partículas finas, los productos horneados se perciben como más blancos debido a una mejor reflexión de la luz (Barbosa-Canovas y Yan 2003). Dichos resultados se ilustran en la Figura 22. Rodríguez (2014), encontró valores de luminosidad y de °Hue, semejantes a los del Cuadro XXVI e indicó que la luminosidad fue mayor en las galletas con mayor contenido de almidón, lo cual concuerda con los resultados obtenidos.

El ángulo °Hue o tono indica que el color de todas las galletas se sitúa cercano al amarillo (ángulo de 90) (Wattson 2010); sin embargo, la saturación (cantidad de color) hizo que las galletas con mayor porcentaje de sustitución se percibieran como más oscuras o con mayor coloración. Dicho resultado fue esperado; pues, a diferencia de las harinas de arroz y yuca, el subproducto contiene pigmentos carotenoides que le brindan su color amarillo (Sandhu *et al.* 2007) y mayor aporte de proteínas, las cuales, en el horneado, pueden producir melanoidinas coloreadas que disminuyen la luminosidad y aportan color a las galletas (Rodríguez 2014). Alegre y Asmat (2016) indican que la luminosidad, el tono y la saturación de la harina de trigo es de 100,6, 83,9 y 14,4 respectivamente; de allí, que los productos elaborados con harina de trigo comúnmente se perciban como más blancos y claros.

Cuadro XXVI. Parámetros de color de las galletas horneados y sustituidas con subproducto de maíz.

Tratamiento	Luminosidad	°Hue	Saturación
C0	80,9 a	82,4	28,3 c
F30	79,1 b	82,3	32,1 abc
F50	77,6 c	81,4	33,4 ab
G30	78,4b bc	81,5	31,5 bc
G50	75,6 d	80,7	35,6 a

Promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Tukey con $\alpha = 0,05$. Promedios sin letra no presentaron diferencia significativa.



Figura 22. Ilustración de las galletas sin harina de trigo sustituidas con subproducto de maíz, de izquierda a derecha se presentan los tratamientos C0, F30, F50, G30 y G50.

iii. Textura

La dureza de las galletas no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$, Ver Anexos, Cuadro XLIII) y varió entre 36 N y 41 N como se indica en la Figura 23. Dichos resultados fueron similares a la dureza obtenida por Mora (2013) para galletas dulces, quien indicó un valor de 39,4 N en su formulación con arroz y yuca. La sustitución de 50% con cualquiera de las dos fracciones de subproducto afectó más el parámetro de dureza; aunque los efectos no fueron significativos. Además, se puede notar que la variabilidad de los resultados fue mayor para la fracción de 530 μm pues hay que recordar que se trata de una mezcla de los tamaños de 603 μm y 427 μm , cuyas partículas más duras pueden afectar la forma en que la cuchilla del texturómetro comprime las galletas.

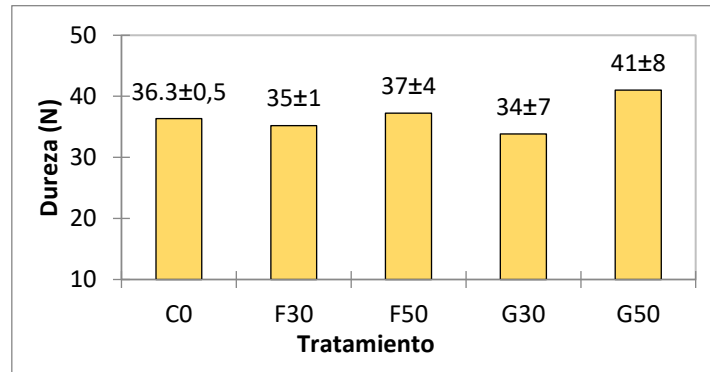


Figura 23. Dureza de las galletas elaboradas con sustitución de subproducto de maíz.

Rodríguez (2014), no encontró correlación entre la textura final de las galletas y las propiedades de hidratación de las mezclas; de manera que, los resultados parecen indicar que la CRA y la CAA repercuten levemente en la textura de las galletas con sustituciones. Este ensayo instrumental indicó que la fuerza máxima que se requirió para quebrar las galletas fue similar para todos los tratamientos (Torres *et al.* 2015); sin embargo, en la prueba preliminar sensorial se encontraron muchas diferencias; pues, como se indicó en el Cuadro XXI, se identificaron atributos como arenosidad, sequedad en la boca, crujencia y sensación de partículas que diferenciaron unas galletas de otras; por lo que, sería provechoso realizar un análisis sensorial descriptivo.

iv. Panel sensorial de agrado

En el Cuadro XXVII se presentan los resultados del análisis de varianza de los valores de agrado de las galletas, según los tres grupos encontrados tras el análisis de conglomerados. Hubo diferencias significativas entre los valores de agrado para los tratamientos de los grupos 2 y 3. En general, las galletas obtuvieron valores hedónicos relativamente altos y similares al producto control, lo cual indicó que el producto presentó potencial para ser aceptado por los consumidores.

Cuadro XXVII. Resultados del análisis de varianza del agrado las galletas para tres conglomerados (grupos).

Fuente	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	gl ¹	Valor F	Prob ²	gl ¹	Valor F	Prob ²	gl ¹	Valor F	Prob ²
Juez	63	2,025	< 0,0001	40	0,681	0,923	6	0,641	0,0697
Tratamiento	4	2,004	0,0945	4	6,777	< 0,0001	4	30,469	< 0,0001

1 gl: grados de libertad

2 Prob: probabilidad asociada

*Efecto significativo $p < 0,05$

De acuerdo con el Cuadro XXVIII, el grupo 1, con el 57% de los consumidores, evaluó los productos con los valores hedónicos más altos, sin diferencia entre el control y los tratamientos con sustitución. El grupo 2, con 37% de los panelistas, valoró las galletas con un puntaje menor y se pudo ver que también prefirieron las sustituciones con 30% y el control. Por otra parte, el grupo 3 indicó que todas las galletas fueron de agrado, a excepción del tratamiento G50, el cual en todos los grupos fue el tipo de galleta con el menor valor de agrado.

Cuadro XXVIII. Comparación de medias del valor de agrado en una escala del 0 al 10 para tres conglomerados de la evaluación de galletas dulces.

Tratamiento galletas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
C0	8,07	6,28 a	7,71 a
F30	7,78	5,54 ab	8,14 a
F50	7,61	4,81 bc	8,54 a
G30	7,78	5,71 a	7,54 a
G50	7,43	4,23 c	2,37 b

1 Grupo de 64 consumidores (57%).

2 Grupo de 41 consumidores (37%), valor LSD: 0,832

3 Grupo de 7 consumidores (6%), valor LSD: 1,281

Promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Fisher LSD, promedios sin letra no presentaron diferencia significativa ($\alpha = 0,05$).

De lo anterior se puede inferir que para desarrollar galletas con el subproducto de maíz se podría trabajar con 30% de sustitución con cualquiera de los tamaños de partícula anteriores o bien se podría valorar la intención de compra del producto hasta con un 50% de sustitución indicándole a los consumidores los posibles beneficios en la salud por el mayor aporte de fibra dietética que tendría.

F. Elaboración de pan de molde sin harina de trigo

i. Características de calidad (Volumen, altura)

En cuanto a las características de calidad del pan de molde sustituido con subproducto de maíz, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para volumen específico y la altura (Cuadro XXIX).

Cuadro XXIX. Resultados del análisis de varianza de la altura y el volumen específico de pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.

Característica	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad*
Volumen específico	4	10,802	0,003
Altura	4	21,916	0,0002

*Efecto significativo $p < 0,05$

La altura del pan varió entre 47,3 mm a 55,1 mm, como se indica en las Figuras 24 y 25. La altura se afectó negativamente con la sustitución, a mayor porcentaje de subproducto, menor fue la altura del pan; sin embargo, dicha disminución solo fue significativa para el pan con la fracción de 530 μm .

Respecto al volumen específico, se vio que este no varió al usar 30% o 50% de sustitución para un mismo tamaño de partícula; pero, sí fue mayor para los panes con fracciones de 301 μm que con las de 530 μm ; aunque el rango de diferencia fue pequeño. Tampoco hubo diferencias significativas entre los panes sustituidos con la fracción de 301 μm y el pan con solo harina de arroz y yuca, esto probablemente por la similitud de tamaños de partícula entre las harinas.

Matos (2013), analizó panes comerciales libres de gluten y encontró valores de volumen específico entre 1,54 cm^3/g – 4,79 cm^3/g ; por lo que, los panes elaborados presentaron un volumen dentro de dicho rango; con tendencia a valores bajos. Los resultados anteriores indicaron que el

efecto del tipo de fracción fue mayor que el porcentaje de sustitución; por lo que, se recomienda utilizar 50% para que aporte mayor cantidad de fibra dietética.

La fracción de 530 μm presentó menor volumen específico y altura probablemente porque las partículas de mayor tamaño interfieren con la retención de gas (Edel y Rosell 2007) y también porque retienen más agua y aceite, lo que aumenta el rendimiento del producto final (mayor masa final). Vale la pena mencionar que, los panes exhibieron buenos volúmenes; a pesar, de que su baja capacidad de formación de espuma. Esto mostró que la formulación utilizada fue conveniente para contrarrestar ese efecto. Por ejemplo, la cantidad de huevo fue alta, mientras que la mezcla de harinas de arroz:yuca fue adecuada pues ambos productos favorecen la espuma.

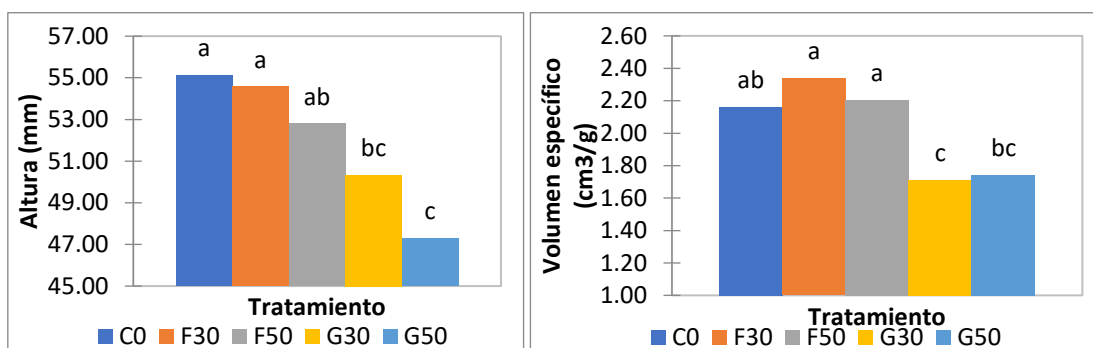


Figura 24. Altura y volumen específico de pan de molde sustituido con subproducto de maíz (promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Tukey con $\alpha = 0,05$).



Figura 25. Pan de molde sin harina de trigo sustituido con subproducto de maíz.

ii. Color

En Cuadro XXX se observa que la sustitución con subproducto afectó la coloración de los panes; ya que, hubo diferencias significativas entre las muestras para los tres parámetros de color. Primero se pudo notar que la luminosidad de los panes fue alta; pero, disminuyó con las sustituciones, con

mayor efecto con la de 50% (Cuadro XXXI). Esto se explica porque la adición de partículas de mayor tamaño impide reflejar mejor la luz (Barbosa-Canovas y Yan 2003).

Cuadro XXX. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.

Característica	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad*
Luminosidad	4	17,969	0,0005
°Hue	4	12,931	0,0015
Saturación	4	29,068	<0,0001

*Efecto significativo $p < 0,05$

Cuadro XXXI. Parámetros de color para pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.

Tratamiento	Luminosidad	°Hue	Saturación
C0	80,2 a	86,4 a	25,8 c
F30	77,2 ab	84,3 b	30,6 b
F50	73,6 bc	82,7 b	31,7 b
G30	75,9 b	83,9 b	33,1 ab
G50	72,1 c	83,3 b	35,6 a

Promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Tukey con $\alpha = 0,05$.

Los valores de luminosidad del producto control y de los panes con 30% de sustitución fueron similares a los reportados por Matos (2013) para panes comerciales libres de gluten ($L^* = 78,31$). Además, fueron similares a los encontrados por Mayorga (2013) para la fibra de piña ($L^* = 79,6$, $^{\circ}\text{Hue} = 85,4$ calculado con los parámetros a^* y b^*) que en apariencia lució similar al subproducto; pero, presentaron mayor pigmentación que los panes comerciales reportados por Matos (2013) ($C^* = 14,7$, $^{\circ}\text{Hue} = 79,85$, calculado con los parámetros a^* y b^*).

El $^{\circ}\text{Hue}$ o tono señala que la coloración del pan control fue la más cercana al amarillo puro (ángulo de 90); pero, conforme aumentó el porcentaje de sustitución, el color se tornó levemente hacia el anaranjado (Wattson 2010). A pesar, de que los panes con sustituciones no presentaron diferencias en el tono (medida instrumental), a simple vista (Figura 25) se percibieron diferentes. Esto se puede explicar por medio de los valores de saturación, donde los tratamientos G30 y G50 presentaron mayor cantidad de color que los F30 y F50 (Cuadro XXXI).

Como era de esperar, los panes C0 presentaron menos color debido a que las harinas de arroz y yuca son refinadas durante su procesamiento y poseen poca pigmentación debido a la ausencia de carotenoides, a diferencia del maíz amarillo (Poneleit 2000, Matos Segura 2013). Así, el color aumentó con las sustituciones, de las cuales la fracción 530 μm tuvo mayor efecto que la de 301 μm . No obstante, para un mismo tipo de fracción, el porcentaje de sustitución no presentó diferencias significativas.

Según Matos (2013) una de las limitaciones en el diseño de PLG es su poco color; por esto en formulaciones comerciales es común encontrar colorantes. Esto indica que el uso del subproducto podría reducir los costos de dichos productos; ya que, brindaría coloración natural.

iii. Textura

En el Cuadro XXXII y XXIII se muestran los resultados de la prueba de TPA para el pan de molde. Hubo diferencias significativas para la dureza, donde la sustitución con fracciones de 530 μm generó panes ligeramente más duros; es decir, la fuerza para comprimirlos una vez fue mayor. Solo la fracción de 530 μm con 50% de sustitución mostró una elasticidad menor significativa, lo cual indicó que el alimento recuperó una menor altura luego de su compresión. La cohesividad fue levemente menor con las sustituciones de 50%, esto señala que dicho nivel de sustitución debilita la fuerza de los enlaces internos del producto (Matos 2013). Mientras que, la masticabilidad fue un poco mayor con el tratamiento G30; en otras palabras, para deglutir este producto se requeriría mayor trabajo que con los demás.

Cuadro XXXII. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de perfil de textura de pan de molde con diferentes porcentajes de sustitución de fracciones de subproducto de maíz.

Característica	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad*
Dureza	4	10,695	0,0027
Elasticidad	4	18,021	0,0005
Cohesividad	4	33,583	<0,0001
Masticabilidad	4	10,526	0,0028

*Efecto significativo $p < 0,05$

Cuadro XXXIII. Parámetros de la prueba de perfil de textura (TPA) de pan de molde con sustitución de subproducto de maíz.

Tratamiento	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Masticabilidad (Nm)
C0	7,3 b	8,5 a	0,39 a	0,024 b
F30	8,4 b	8,3 a	0,40 a	0,028 b
F50	7,6 b	8,1 a	0,36 b	0,022 b
G30	9,8 a	8,2 a	0,41 a	0,033 a
G50	9,0 a	7,4 b	0,33 b	0,022 b

Promedios en columnas con letras distintas indican diferencia significativa para la prueba de Tukey con $\alpha = 0,05$.

Lezama (2015), encontró que la dureza de panes de trigo con sustituciones de salvado de arroz varió entre 11N – 13N; por lo que, los panes libres de gluten que se estudiaron resultaron un poco menos duros. Además, reportó la cohesividad (0,53 – 0,56) y masticabilidad (0,053 – 0,061) ligeramente mayores que las aquí encontradas. Este comportamiento fue esperado; ya que, en ausencia de gluten las características viscoelásticas del pan disminuyen (Villanueva 2014). En comparación con los panes libres de gluten estudiados por Matos (2013), la dureza y la cohesividad también fueron similares.

Con los resultados anteriores, se puede constatar que la sustitución con subproducto afectó los parámetros de textura aumentando la dureza y disminuyendo su elasticidad; no obstante, los valores obtenidos difirieron en magnitudes muy pequeñas; por lo que, su efecto realmente no fue impactante, lo cual se comprobó con la medida de agrado que se explicará a continuación.

iv. Panel sensorial de agrado

A partir del panel sensorial de pan de molde se encontraron tres conglomerados de consumidores. Según el ANDEVA del Cuadro XXXIV, se presentó diferencias significativas entre los tratamientos en los tres grupos.

Cuadro XXXIV. Resultados del análisis de varianza del agrado de pan de molde para tres conglomerados (grupos).

Fuente	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	gl ¹	Valor F	Prob ²	gl ¹	Valor F	Prob ²	gl ¹	Valor F	Prob ²
Juez	48	0,805	0,811	25	1,50	0,083	31	1,55	0,049
Tratamiento	4	5,181	0,0006	4	3,89	0,0006	4	3,41	0,0011

Nota: se eliminaron 5 datos porque sus valores indicaron que los panelistas no eran consumidores frecuentes de este producto.

1 gl: grados de libertad

2 Prob: probabilidad asociada

*Efecto significativo $p < 0,05$

En el Cuadro XXXV, se puede notar que los tres grupos evaluaron los productos con valores hedónicos distintos. Esto se debe al uso idiosincrático de la escala. El grupo 3 (30% de los panelistas) evaluó las muestras con los valores hedónicos más altos, todos los panes fueron de su agrado y el tratamiento G30 fue el único que presentó diferencias significativas respecto a los demás y menor calificación. El grupo 1 (46%) y el grupo 2 (24%) indicaron la misma tendencia en el agrado de los panes. Prefirieron las sustituciones con 30%, seguidas de las de 50% y el control. Además, se puede notar que el grupo 1 utilizó valores de agrado más altos que los del grupo 2; el cual fue el que más discriminó entre muestras.

Cuadro XXXV. Comparación de medias del valor de agrado en una escala del 0 al 10 para los tres conglomerados en la evaluación de pan de molde.

Tratamiento pan	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
C0	6,29 a	3,93 bc	8,29 a
F30	6,94 a	4,73 ab	8,23 a
F50	5,42 b	3,87 c	8,18 a
G30	6,84 a	5,20 a	7,47 b
G50	6,69 a	4,25 bc	8,67 a

1 Grupo de 49 consumidores (46%), valor LSD: 0,76

2 Grupo de 32 consumidores (30%), valor LSD: 0,66

3 Grupo de 26 consumidores (24%), valor LSD: 0,80

Cabe rescatar que el panel se llevó a cabo con 112 consumidores; pero, para el análisis estadístico se eliminaron los resultados de cinco jueces porque sus valores de agrado fueron inferiores a 1 indicando que no eran consumidores del tipo de producto que se estaba analizando. Así, este análisis se llevó a cabo con un total de 107 panelistas el cual se considera aceptable; ya

que, se trata de prototipos en escala de laboratorio y no es una prueba de mercado (Hough *et al.* 2006). Con base en lo anterior se concluye que es posible utilizar el subproducto para la formulación de pan de molde sin harina de trigo.

Con base en los resultados obtenidos de esta investigación se puede establecer que la incorporación del subproducto de maíz como un componente que aporta fibra presenta como ventajas que tiende a ser de agrado a nivel sensorial e imparte propiedades tecnológicas de relevancia. Específicamente, en productos horneados aumenta su rendimiento y mejora su estabilización (por la retención de agua y aceite), brinda color, aporta nutrientes (proteína, grasa y fibra) y disminuye su contenido calórico, debido a que funcionan como un agente de relleno. Por lo que, el uso de las fracciones altas en fibra de este subproducto podría ser beneficioso para la industria y para la salud (Raghavendra *et al.* 2006, Armijo 2014).

CONCLUSIONES

- Se analizó un subproducto de la molienda seca del maíz con tamaños entre 213 μm – 1205 μm , sus componentes principales fueron almidón total y la fibra dietética, los cuales variaron inversamente entre ellos según la fracción. Además, el subproducto de maíz presentó mayor aporte de macronutrientes y mejor capacidad de adsorción de aceite y retención de agua que una mezcla 50:50 de harina de arroz y yuca y que una harina de trigo.
- En los productos horneados, se logró adicionar el subproducto a galletas con efectos mínimos en sus características de calidad (masa final, diámetro, grosor y expansión). Mientras, que en el pan de molde su incorporación aumentó la dureza y disminuyó su altura y volumen específico. Además, en ambos productos aportó color, nutrientes (proteína, grasa y fibra) y fue de agrado a nivel sensorial.
- Para lograr galletas con potencial de ser aceptadas por los consumidores y con la declaración de fuente de fibra, se puede utilizar la fracción de 301 μm con 50% de sustitución o la de 530 μm con 30% de sustitución. En el caso del pan, esto se lograría al utilizar la fracción de 530 μm con 50% de sustitución

RECOMENDACIONES

- Realizar mayor número de repeticiones para los análisis enzimáticos para la determinación de fibra dietética y almidón pues la variabilidad obtenida en este estudio fue alta.
- Realizar un análisis de almacenamiento de las galletas considerando que no presentaron deterioro microbiológico después de los 3,5 meses de su elaboración.
- Incorporar algún tipo de preservante al pan y estimar su vida útil; ya que, presentó deterioro microbiológico después de los 4 días de su elaboración.
- Retirar las partículas menores a 213 μm del subproducto de maíz; ya que, son muy cohesivas, presentaron propiedades tecnológicas deficientes; así como bajo rendimiento y menor valor nutricional.
- Llevar a cabo un análisis de costos de los productos horneados incorporando el subproducto de maíz con el fin de determinar cómo afecta el precio de estos.
- Realizar un panel sensorial con las galletas y el pan tomando en cuenta las declaraciones de fuente de fibra para determinar si mejora su aceptación entre los consumidores y denotar su potencial

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC (American Association of Cereal Chemists). 1999. Water hydration capacity of protein materials. Method 56-30. s.l., s.e.

AACC (American Association of Cereal Chemists). 2001. AACC Method 10-05 Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed. *AACC Method 10-05*. . s.l., s.e. 3–6. p.

AACC (American Association of Cereal Chemists). 2001. The Definition of Dietary Fiber (en línea). s.l., s.e. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en <https://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Documents/DietaryFiber/DFDef.pdf>.

Aguilera, Y. 2009. Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales. Tesis Doctoral, Departamento de Química Agrícola, Universidad Autónoma de Madrid. 308 p.

Alegre, K; Asmat, RM. 2016. Sustitución parcial de la harina de trigo por harina de haba (*vicia faba l.*), en la elaboración de galletas fortificadas usando panela como edulcorante (en línea). Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa. 161 p. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2630/42896.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Álvarez Restrepo, C. 2014. Formulación de una materia prima con competencia tecnológica para ser aplicada en el diseño de alimentos libres de gluten mejorados nutricionalmente. Tesis de Maestría en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquía. 171 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Ananías, RA; Sarzosa, R; Janin, G; Bluskova, G; Goncalez, J. 2003. Apreciación cuantitativa del color de la madera por colorimetría. Parte 2: mediciones de los cambios de color en pino radiata (*pinus radiata*) secado bajo un programa convencional acelerado (en línea). Maderas. Ciencia y tecnología 5(2):153–161. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2003000200007>.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1997. Official Methods of Analysis. 16 ed.

Maryland, s.e.

Armijo Montes, OA. 2014. Valorización de los subproductos de la industrialización de palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes*) para la elaboración de un producto en polvo con alto contenido de fibra dietética. (en línea). Tesis de Licenciatura, Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. 88 p. Disponible en <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3436/1/40323.pdf>.

Ataye Salehi, E; Sardarodiyani, M. 2016. Celiac disease and role of a gluten-free diet. *Research & Reviews in BioSciences* 11(2):1–10.

Autio, K; Salmenkallio-Marttila, M. 2003. Understanding microstructural changes in biopolymers using light and electron microscopy in characterization of cereals and flours (en línea). s.l., Marcel Dekker. 523 p. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=zdOF0H8sPPkC&oi=fnd&pg=PA387&dq=Understanding+Microstructural+Changes+in+Biopolymers+Using+Light+and+Electron+Microscopy+in+Characterization+of+Cereals+and+Flours&ots=sMAhkTSzlg&sig=cysNgY34aRX7BpJ25Z1rqjXWjv4>.

Awika, JM. 2011. Health promoting effects of cereal and cereal products (en línea). Nueva York, CRC. p. 9–17 DOI: <https://doi.org/10.1201/b10786>.

Barbosa-Canovas, G; Yan, H. 2003. Powder characteristics of preprocessed cereal flours. Nueva York, Marcel Dekker. p. 173–209.

Barrera, GN; Bassi, E; Reyes Martínez, RJ; León, AE; Ribotta, PD. 2012. Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces. *Agriscientia* 29(2):s.p.

Barrett, AH. 2002. Structure-Functionality relationships in foods (en línea). In *Welti-Chanes, J; Barbosa-Cánovas, G; Aguilera, JM (eds.)*. Nueva York, CRC Press. p. 477. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <https://books.google.co.cr/books?id=DEHMBQAAQBAJ&pg=PA477&lpg=PA477&dq=Barrett,+2002>

+engineering+and+food+for+the+21+century&source=bl&ots=ih1BDIXIO2&sig=TWTld0b8ZUjtiyWYCK3_-oLOGQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwif7_6S4sLdAhUCwVkkHS21AhsQ6AEwC3oECAUQAQ#v=onepage&.

Bashir, K; Swer, TL; Prakash, KS; Aggarwal, M. 2017. Physico-chemical and functional properties of gamma irradiated whole wheat flour and starch (en línea). *LWT - Food Science and Technology* 76:131–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.050>.

Becker, R. 2008. *Fatty Acids in Food Cereal Grains and Grain Products* (en línea). Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC. p. 303–316. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1201/9781420006902.ch12>.

Belitz, HD; Grosch, W; Schieberle, P. 2009. *Food Chemistry*. 4 ed. Berlin, Springer.

Bevilacqua, A; Costabile, A; Bergillos-Meca, T; Gonzalez, I; Landriscina, L; Ciuffreda, E; D’Agnello, P; Corbo, MR; Sinigaglia, M; Lamacchia, C. 2016. Impact of gluten-friendly bread on the metabolism and function of in vitro gut microbiota in healthy human and coeliac subjects. *PLoS ONE* 11(9):1–21. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162770>.

Boatella, J. 2004. *Química y bioquímica de los alimentos II* (en línea). s.l., s.e. 161 p. Disponible en <https://books.google.com/books?id=swXN8dUFew0C&pgis=1>.

Bolade, MK. 2009. Effect of flour production methods on the yield , physicochemical properties of maize flour and rheological characteristics of a maize-based non- fermented food dumpling. *African Journal of Food Science* 3(10):288–298.

Bolade, MK; Adeyemi, IA; Ogunsua, AO. 2009. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize-based nonfermented food gel. *International Journal of Food Science and Technology* 44(3):646–655. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01903.x>.

Burešová, I; Tokár, M; Mareček, J; Hřivna, L; Faměra, O; Šottníková, V. 2017. The comparison

of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread (en línea). *Journal of Cereal Science* 75:158–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2017.04.004>.

Campos-Granados, C; Arce-Vega, J. 2016. Sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical* 10(2):91–113.

Cappa, C; Lucisano, M; Raineri, A; Fongaro, L; Foschino, R; Mariotti, M. 2016. Gluten-Free bread: Influence of sourdough and compressed yeast on proofing and baking properties (en línea). *Foods* 5(4):69. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods5040069>.

Castro, A; Acosta, A. 2014. Enfermedad celíaca y Síndrome de Dawn. *Revista Clínica de la Escuela de Medicina UCR* 4(4):1–5.

Catassi, C; Fasano, A. 2008. Celiac disease (en línea). *Gluten-Free Cereal Products and Beverages* 1:1–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012373739-7.50003-4>.

Chaparro, S; Tavera, M; Martínez, J; Gil, J. 2014. Propiedades funcionales de la harina y de los aislados protéicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*). *Revista U.D.CA Actualidad & Divulgación Científica* 17(1):151–159.

Charalampopoulos, D; Pandiella, SS; Webb, C. 2009. *Uses of whole cereals and cereal components for the development of functional foods*. Nueva York, CRC Press. p. 635.

CITA (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos). 2005. Almidón por el método enzimático. AQCITA-M018. San José, Costa Rica, s.e.

CITA (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos). 2012a. Grasa por hidrólisis ácida. P-SA-MQ-009. San José, Costa Rica, s.e.

CITA (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos). 2012b. Nitrógeno total por el método Kjeldahl utilizando el equipo Foss Tecator. P-SA-MQ-003. San José, Costa Rica, s.e.

CITA (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos). 2016. Fibra dietética total por el método enzimático. P-SA-MQ-007. San José, Costa Rica, s.e.

Codex Alimentarius Commission. 1997. Declaraciones Nutricionales y Saludables (CAC/GL 23-1997) (en línea). s.l., s.e. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/ag/humannutrition/33313-033ebb12db9b719ac1c14f821f5ac8e36.pdf>.

Codex Alimentarius Commission. 2015. Norma relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten (en línea). s.l., s.e. Disponible en file:///C:/Users/user/Downloads/CXS_118s_2015.pdf%0Ahttp://www.codexalimentarius.org.

Collado, L; Corke, H. 2003. Characterization of cereals and flours: starch properties and functionalities. New York, CRC Press.

Cúneo, F; Ortega, J. 2012. Disponibilidad , costo y valor nutricional de los alimentos libres de gluten en comercios de la ciudad de Santa Fe. FABICIB 16:167–178.

Dayakar Rao, B; Anis, M; Kalpana, K; Sunooj, K V.; Patil, J V.; Ganesh, T. 2016. Influence of milling methods and particle size on hydration properties of sorghum flour and quality of sorghum biscuits (en línea). LWT - Food Science and Technology 67:8–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.033>.

Edel, A; Rosell, CM. 2007. De tales harinas, tales panes: Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. 2 ed. Báez, H (ed.). Córdoba, Argentina, s.e. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Elizondo, W. 2017. Maiz blanco. Política de Nacional para la Seguridad Alimentaria. Costa Rica. Ministerio de Salud.

Esra, M. 2007. Cookie Dough Rheology. New York, Taylor & Francis Group, LLC.

Estévez, V; Araya, M. 2016. La dieta sin gluten y los alimentos libres de gluten (en línea). Revista Chilena de Nutrición 43(4):428–433. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400014>.

Eyhérabide, G. 2013. Determinantes genéticos de la calidad de maíz. Buenos Aires, Argentina, Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. p. 69–81.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1993. El maíz en la nutrición humana (en línea). 2 ed. Roma, FAO. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm#Contents>.

Fernández-Muñoz, JL; San Martín-Martínez, E; Díaz-Góngora, JAI; Calderón, A; Ortiz, H. 2008. Evaluación de las Distribuciones de Tamaño de Partícula de Harina de Maíz Nixtamalizado por medio de RVA. *Superficies y Vacío* 21(3):25–30.

Fernández-Muñoz, JL; Zapata-Torrez, M; Márquez-Herrera, A; Sánchez-Sinencio, F; Mendoza-Álvarez, JG; Meléndez-Lira, M; Zelaya-Ángel, O. 2016. Properties of particle size distribution from milled white nixtamalized corn kernels as a function of steeping time. *Scientifica* 2016(6724047):1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/6724047>.

Ferreras, R. 2009. Análisis reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo (en línea). Tesis de Ingeniería Técnica Agrícola (Especialidad Industrias Agrarias y Alimentarias, Universidad de Salamanca. 180p. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/56078/1/PFC_Analisisreologico.pdf.

Flores-Farías, R; Martínez-Bustos, F; Salinas-Moreno, Y; Ríos, E. 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrocencia* 36(5):557–567.

Foschia, M; Beraldo, P; Peressini, D. 2016. Evaluation of the physicochemical properties of gluten-free pasta enriched with resistant starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97:572–577. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7766>.

Gallagher, E. 2009. *Gluten-Free Food Science and Technology* (en línea). Reino Unido, John Wiley & Sons. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en <https://leseprobe.buch.de/images-adb/63/06/63063873-2b13-4b5c-9603-704586f6ea73.pdf>.

Geerts, MEJ; Strijbos, M; van der Padt, A; van der Goot, AJ. 2017. Understanding functional

properties of mildly refined starch fractions of yellow pea (en línea). *Journal of Cereal Science* 75:116–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.025>.

Goñi, SM; Salvadori, VO. 2015. Medición de color de alimentos en el espacio CIELab a partir de imágenes (en línea). La Plata, Argentina, s.e. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47868/Documento_completo.pdf?sequence=1.

González Cruz, JA; Aramburo de la Cruz, KG. 2011. Extracción de aceite de germen de maíz (*Zea Mays L.*) usando CO₂ supercrítico (en línea). Tesis de Ingeniería Química, Santiago de Cali, Colombia, Universidad del Valle. 76p. Disponible en <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7878/1/CB-0449464.pdf>.

Grande, C; Orozco, B. 2013. Producción y procesamiento del maíz en Colombia (en línea). *Revista Científica Guillermo de Ockham* 11(1):97–110. DOI: <https://doi.org/ISSN:1794-192X> -.

Granito, M; Guerra, M. 1995. Uso del germen desgrasado de maíz en harinas compuestas para panificación (en línea). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 45(4):322–328. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Marisela_Granito/publication/14058068_The_use_of_defatted_corn_germ_in_flour_manufactured_to_bakery_products/links/569556f908ae425c68983270.pdf.

Granito, M; Guerra, M. 1997. Efecto del uso de diferentes aditivos de panificación en la calidad de panes elaborados con harinas compuestas a base de harina de trigo y germen desgrasado de maíz (en línea). *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 17(2):181–187. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cta/v17n2/a22v17n2.pdf>.

Guerra, M; Granito, M; Pacheco, E; Schnell, M; Torres, A; Juscelino, T. 1998. El germen desgrasado de maíz: materia prima potencial para la industria de alimentos. *Anales Venezolanos de Nutrición* 19(1):107–102.

Hassan, AB; Pawelzik, E; von Hoersten, D. 2016. Effect of radio frequency heating on nutritional

quality and protein solubility of corn. *Food Science and Nutrition* 4(5):686–689. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.332>.

Hernández-Monzón, A; García-Pedroso, D; Calle-Dominguez, J; Duarte-García, C. 2014. Desarrollo de una galleta dulce con ajonjolí tostado y molido (en línea). *Tecnología Química* 24(3):197–206. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v34n3/rtq03314.pdf>.

Hernández-Soto, R; Sandoval-Fabian, G; Estarrón-Espinoza, M; Cardador-Martínez, A. 2011. Cuantificación de fitoesteroles en residuos industriales derivados de la molienda húmeda de maíz. *CYTA - Journal of Food* 9(2):102–108. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2010.482747>.

Hernández, BD; Guerra, MJ; Rivero, F. 1999a. Efecto del fraccionamiento sobre las características del germen de maíz desgrasado (en línea). *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 19(1):107–112. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000100019>.

Hernández, BD; Guerra, MJ; Rivero, F. 1999b. Obtención y caracterización de harinas compuestas de endospermo - germen de maíz y su uso en la preparación de arepas (en línea). *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 19(2):194–198. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000200007>.

Houben, A; Höchstötter, A; Becker, T. 2012. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview (en línea). *European Food Research and Technology* 235(2):195–208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1720-0>.

Hough, G; Wakeling, I; Mucci, A; Chambers IV, E; Gallardo, IM; Alves, LR. 2006. Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Quality and Preference* 17(6):522–526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.07.002>.

Hoyos, D; Palacios, AG. 2015. Utilización de harinas compuestas de maíz y garbanzo adicionadas con fibra de cascara de piña para sustitución de harina de trigo en productos de panificación. Tesis de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali,

Colombia. 116 p.

Hunter Associates Laboratory. 2013. ColorFlex EZ User's Manual (en línea, sitio web). Consultado 18 sep. 2018. Disponible en www.hunterlab.com.

Hüttner, EK; Arendt, EK. 2010. Recent advances in gluten-free baking and the current status of oats (en línea). *Trends in Food Science & Technology* 21(6):303–312. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2010.03.005>.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura); Red SICTA; Cooperación Suiza en América Central. 2014. Las cadenas de valor de maíz blanco y frijol en Centroamérica: actores, problemas y acciones para su competitividad (en línea). San José, Costa Rica, s.e. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en www.iica.int.

ILSI (International Life Sciences Institute). 2006. Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal (en línea). Argentina, s.e. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en www.cropcomposition.org.

Indrani, D; Rao, G V. 2008. *Functions of Ingredients in the Baking of Sweet Goods*. s.l., CRC Press. p. 31–45 DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420052770>.

Izquierdo, NG; Cirilo, AG. 2013. Usos del maíz. Efectos del ambiente y del manejo sobre la composición del grano (en línea, sitio web). Consultado 18 sep. 2018. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47599/Documento_completo.pdf?sequence=1.

Jan, R; Saxena, D; Singh, S. 2016. Physico-chemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten – Free cookies made from raw and germinated *Chenopodium album* flour (en línea). *LWT - Food Science and Technology* 71:281–287. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.04.001>.

Ji, Y; Zuo, L; Wang, F; Li, D; Lai, C. 2012. Nutritional value of 15 corn gluten meals for growing pigs: chemical composition, energy content and amino acid digestibility (en línea). *Archives of Animal Nutrition* 66(4):283–302. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.702466>.

Jnawali, P; Kumar, V; Tanwar, B. 2016. Celiac disease: Overview and considerations for development of gluten-free foods (en línea). *Food Science and Human Wellness* 5(4):169–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.09.003>.

Joshi, AU; Liu, C; Sathe, SK. 2015. Functional properties of select seed flours. *LWT - Food Science and Technology* 60(1):325–331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.038>.

Julianti, E; Rusmarilin, H; Ridwansyah; Yusraini, E. 2017. Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum (en línea). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(2):171–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.005>.

Junqueira, JR de J; Lima Junior, FA; Souza Fernandes, G; Dias Paes, MC; Pereira, J. 2017. Proximate composition and technological characteristics of dry pasta incorporated with micronized corn pericarp. *Revista Caatinga* 30(2):496–502. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n225rc>.

Kolawole O, F; Akinpelu S, C. 2015. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars (en línea). *Food Hydrocolloids* 44:478–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2014.10.005>.

Krishna, J; Chandrasekaran, M. 2012. *Cereals*. Nueva York, CRC Press. p. 303–326.

Lampi, A; Kamal-Eldin, A; Piironen, V. 2002. *Tocopherols and Tocotrienols from Oil and Cereal Grains*. Nueva York, CRC Press. p. 1–38.

Lamus Uvarova, M; Barrera-Arellano, D. 2005. Efecto de la lipofilización sobre las propiedades funcionales de la harina de palmiste (*Elaeis guineensis*) (en línea). *Grasas y Aceites* 56(1):1–8. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-27844556826&partnerID=tZOtx3y1>.

Lang, L; Rakszegi, M; Bedó, Z. 2014. *Cereal production and its characteristics*. Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC. p. 1–20.

Lawless, H; Heymann, H. 2013. Análisis descriptivo (Descriptives analysis). s.l., Springer.

LECO Corporation. 2018. Application Note: Moisture and Ash in Flour Using the TGA701 (-359) (en línea, sitio web). Consultado 18 sep. 2018. Disponible en <https://www.leco.com/index.php/component/edocman/?view=document&id=193&Itemid=193>.

Lezama, A. 2015. Desarrollo de un pan de molde a partir de los subproductos del procesamiento del grano de arroz entero y determinación de sus propiedades funcionales. Tesis de Licenciatura, Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. 126 p.

Li, Q; Somavat, P; Singh, V; Chatham, L; Gonzalez de Mejia, E. 2017. A comparative study of anthocyanin distribution in purple and blue corn coproducts from three conventional fractionation processes (en línea). *Food Chemistry* 231(2017):332–339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.146>.

Lin, M; Humbert, E. 1974. Functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science* 39:368–370.

Loría Solano, E; Acuña Chinchilla, A; León González, R; Rodríguez, C; Meléndez González, W; Bonilla Morales, N; Carrillo, O. s/f. Curso de producción de semilla de maíz (en línea). Costa Rica, UPIAV (Unión de Productores Independientes y Actividades Varias). Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F03-8042.pdf>.

Lu, S; Lin, T. 2001. *Rice-Based Snack Foods*. Nueva York, CRC Press.

Luo, X; Qi, L; Liu, Y; Wang, R; Yang, D; Li, K; Wang, L; Li, Y; Zhang, Y; Chen, Z. 2017. Effects of electron beam irradiation on zearalenone and ochratoxin a in naturally contaminated corn and corn quality parameters. *Toxins* 9(84):1–11. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins9030084>.

MAG (Ministerio de Agricultura y ganadería); PFPAS. 2007. Plan estrategico de la cadena productiva de maiz y frijol (periodo 2008-2010). Costa Rica.

Malumba, P; Boudry, C; Roiseux, O; Bindelle, J; Beckers, Y; Béra, F. 2015. Chemical

characterisation and in vitro assessment of the nutritive value of co-products yield from the corn wet-milling process (en línea). *Food Chemistry* 166:143–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.001>.

Mandala, I; Rosell, C. 2015. *Physical Processing of grains and flours leading nutritious breads*. Nueva York, CRC Press. p. 206–221.

Marco, C; Rosell, CM. 2008a. Breadmaking performance of protein enriched gluten free breads (en línea). *European Food Research and Technology* 227:1205–1213. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/36041399.pdf>.

Marco, C; Rosell, CM. 2008b. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours (en línea). *Journal of Food Engineering* 88(1):94–103. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2008.01.018>.

Matos Segura, ME. 2013. *Formulación y desarrollo de productos horneados libres de gluten a base de harina de arroz enriquecidos con proteína*. Tesis de Doctoral, España, Universidad Politécnica de Valencia. 213 p.

Mayorga, AL. 2013. *Desarrollo de fibra dietética a partir de un subproducto industrial de piña y su aplicación en un producto alimenticio*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. 177 p.

Meilgaard, M; Vance Civille, G; Thomas Carr, B; Carr, BT; Civille, GV. 1999. *Sensory evaluation techniques*, Tercera edición (en línea). s.l., CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781439832271>.

Mesas, JM; Alegre, MT. 2002. El pan y su proceso de elaboración the bread and its processing o pan e o seu proceso de elaboração (en línea). *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 3(5):307–313. DOI: <https://doi.org/10.1080/11358120209487744>.

Milde, LB; González, KG; Valle-Urbina, C; Rybak, A. 2009. Pan de fécula de mandioca con leche: Comportamiento físico al adicionar un emulsionante. *Revista de Ciencia y Tecnología, UNAM*

(Universidad Nacional de Misiones). 11(11):4–8.

Min, S; Young, K; Jung, H. 2009. Packaging and teh shelf life of cereals and snack foods. Nueva York, CRC Press.

Ministerio de Salud (Costa Rica). 2011. Política Nacional para la Seguridad Alimentaria y Nutricional 2011-2021 (en línea). San José, Costa Rica, s.e. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en www.ministeriodesalud.go.cr.

Miquilena, E; Higuera Moros, A; Rodríguez, B. 2016. Evaluación de propiedades funcionales de cuatro harinas de semillas de leguminosas comestibles cultivadas en Venezuela (En *propiedades funcionales*). Revista de la Facultad de Agronomía 33(1):58–75.

Mokni, A; Sila, A; Maklouf, I; Blecker, C; Danthine, S; Attia, H; Bougatef, A. 2015. Structural, functional and ACE inhibitory properties of water-soluble polysaccharides from chickpea flours. International Journal of Biological Macromolecules 75:276–282.

Molina-Rosell, C. 2013. Alimentos sin gluten derivados de cereales (en línea). OmniaScience 1:447–461. DOI: <https://doi.org/10.3926/oms.27>.

Molinares, E. 2002. Estudio de factibilidad técnica para la adaptación de un sistema de molienda a un proceso de secado de cereales para la elaboración de harina cruda de maíz. Tesis de Licenciatura en Producción Industrial, Universidad de la Sabana, Colombia.

Mora Campos, SM. 2013. Aprovechamiento de ñampí, tiquisque, yuca y arroz para la elaboración de galletas dulces libres de gluten con propiedades sensoriales y reológicas similares a las obtenidas con trigo (en línea). Tesis de Licenciatura. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. 125p. Disponible en <http://www.ts.ucr.ac.cr/binarios/doc-escuela/ets-ae-graduacion.pdf>.

Mora, FM. 2012. Maíz Blanco Costa Rica: Período agrícola 2012 - 2013. (Ficha técnica). Consejo Nacional de Producción, Costa Rica.

Morante, N; Ceballos, H; Sánchez, T; Rolland-Sabaté, A; Calle, F; Hershey, C; Gibert, O; Dufour, D. 2016. Discovery of new spontaneous sources of amylose-free cassava starch and analysis of their structure and techno-functional properties. *Food Hydrocolloids* 56:383–395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.025>.

Muñoz Camacho, E; Grau Ríos, M. 2013. Ingeniería química (en línea). San José, Editorial UNED. Consultado 10 oct. 2018. Disponible en https://books.google.co.cr/books?id=EES6nXZJbaMC&dq=diferencia+entre+adsorción+y+absorción&hl=es&source=gbs_navlinks_s.

Navarro, RO; Gómez-Aldapa, CA; Aguilar-Palazuelos, E; Delgado-Licon, E; Castro Rosas, J; Hernández-Ávila, J; Solís-Soto, A; Ochoa-Martínez, LA; Medrano-Roldán, H. 2016. Blue corn (*Zea mays L.*) with added orange (*Citrus sinensis*) fruit bagasse: Novel ingredients for extruded snacks (en línea). *CYTA - Journal of Food* 14(2):349–358. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1114026>.

Nawaz, H; Shad, MA; Rehman, T; Ramzan, A. 2016. Influence of high-dose gamma radiation and particle size on antioxidant properties of maize (*Zea mays L.*) flour. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 52(4). DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-82502016000400022>.

OGTR (Office of the Gene Technology Regulator). 2008. The Biology of *Zea mays L. ssp mays* (maize or corn) (en línea). Australia, OGTR. p. 1–81. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en <http://www.ogtr.gov.au>.

Ortega-Rivas, E. 2012. Unit operations of particulate solids theory and practice. s.l., CRC Press. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60505-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60505-2).

Pacheco, E; Vivas, N. 2003. Efecto de la harina desgrasada de germen de maíz y de salvado de arroz en algunas propiedades químicas, físicas y sensoriales de salchichas (en línea). *Acta Científica Venezolana* 54(4):274–283. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000102&pid=S0121-4004201000030000400009&lng=en.

Paliwal, R; Granados, G; Lafitte, H; Violic, A. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (en línea). Roma, ONU. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>.

Palka, K. 2006. Chemical and functional properties of food components, Third Edition (en línea). 3 ed. Sikorski, Z (ed.). Boca Raton, CRC Press, (Chemical & Functional Properties of Food Components). DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420009613>.

Pincirolí, M. 2010. Proteínas de arroz: propiedades estructurales y funcionales. Tesis de Maestría, Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de la Plata. 93 p.

Pins, JJ; Pereira, MA; Jacobs, DR; Marquart, L; Keenan, JM. 2001. Whole Grains , Cereal Fiber, and Chronic Diseases : Experimental evidence and possible biologic mechanisms. s.l., CRC Press. p. 481–497.

Poneleit, C. 2000. Breeding white endosperm corn. Nueva York, CRC Press. p. 241–279.

PROCOMER. 2017a. Aumenta la incorporación de alimentos sin gluten en el canal HORECA (en línea, sitio web). Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <https://www.procomer.com/es/alertas-comerciales/aumenta-la-incorporacion-de-alimentos-sin-gluten-en-el-canal-horeca>.

PROCOMER. 2017b. Estudio señala diferencias nutricionales de los alimentos libres de gluten (en línea, sitio web). Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <https://www.procomer.com/es/alertas-comerciales/estudio-senala-diferencias-nutricionales-de-los-alimentos-libres-de-gluten>.

PROCOMER. 2017c. Tendencia “libre de granos” liderará el futuro de la panadería (en línea, sitio web). Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <https://www.procomer.com/en/commercial-alerts/tendencia-libre-de-granos-liderar-el-futuro-de-la-panadera>.

Przybylski, R. 2006. Cereal grain oils. Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC. p. 57–71.

Quirós, SM. 2013. Elaboración de quequitos libres de gluten a partir de harinas de tiquisque,

ñampí , arroz , yuca y sus mezclas. Tesis de Licenciatura, Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. .

Ragae, S; Seethraman, K; Abdel-Aal, ES. 2013. Effects of Processing on Nutritional and Functional Properties of Cereal Products. Nueva York, CRC Press.

Raghavendra, SN; Ramachandra, SR; Rastogi, NK; Raghavarao, KSMS; Kumar, S; Tharanathan, RN. 2006. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. Journal of Food Engineering 72(3):281–286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.008>.

Rajendran, S. 2003. Grain storage (en línea). Nueva York, Marcel Dekker. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en [https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=Y4N54Wn618YC&oi=fnd&pg=IA1&dq=Handbook+of+postharvest+technology:+Grain+storage.&ots=uwKtuqb6nU&sig=CdbBDpAieRHINf80_UchWdwinTM#v=onepage&q=Handbook of postharvest technology%3A Grain storage.&f=false](https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=Y4N54Wn618YC&oi=fnd&pg=IA1&dq=Handbook+of+postharvest+technology:+Grain+storage.&ots=uwKtuqb6nU&sig=CdbBDpAieRHINf80_UchWdwinTM#v=onepage&q=Handbook+of+postharvest+technology%3A+Grain+storage.&f=false).

Reig-Otero, Y; Mañes, J; Manyesi Font, L. 2017. Sensibilidad al gluten no celiaca (SGNC): manejo nutricional de la enfermedad. Nutricion Clínica y Dietetica Hospitalaria 37(1):171–182. DOI: <https://doi.org/10.12873/371manyesfont>.

Retana, J; Villalobos, R; Alvarado, L; Sanabria, N; Córdoba, J. 2014. Tercera Comunicación Nacional. Seguridad alimentaria y el cambio climático en Costa Rica: granos básicos (en línea). Costa Rica, s.e. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en www.imn.ac.cr.

Riahi, E; Ramaswamy, HS. 2003. Structure and composition of cereal grains and legumes. Quebec, Canadá, Marcel Dekker, Inc. p. 1–16.

Rodríguez, P. 2014. Elaboración de galletas sin gluten con mezclas de harina de arroz- almidón-proteína (en línea). Tesis de Maestría, España, Universidad de Valladolid. 30 p. Disponible en <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/15107/1/TFM-L 249.pdf>.

Ronda, F; Pérez-Quirce, S; Villanueva, M. 2017. Rheological properties of gluten-free bread

doughs: relationship with bread quality (en línea). s.l., Elsevier Ltd. p. 297–334 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00012-7>.

Rosentrater, KA; Evers, AD. 2018a. Chemical components and nutrition (en línea). s.l., s.e. 267–368 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100529-3.00004-9>.

Rosentrater, KA; Evers, AD. 2018b. 2018. Dry-milling technology (en línea). s.l., Elsevier. p. 421–514 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100529-3.00006-2>.

RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano). s/f. Etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad (en línea). s.l., s.e. p. 1–43. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en https://extranet.who.int/nutrition/gina/sites/default/files/COMIECO_2011_Etiquetado_Nutricional_de_Productos_Alimenticios_Preenvasados_para_Consumo_Humano.pdf.

Sánchez Ortega, I. 2014. Maíz I (*Zea mays*) (en línea). Reduca (Biología). Serie Botánica 7(2):151–171. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en https://eprints.ucm.es/27974/1/MAIZ_I.pdf.

Sandhu, KS; Singh, N; Malhi, NS. 2007. Some properties of corn grains and their flours I: Physicochemical, functional and chapati-making properties of flours. Food Chemistry 101:938–946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.040>.

Sapone, A; Bai, JC; Ciacci, C; Dolinsek, J; Green, PHR; Hadjivassiliou, M; Kaukinen, K; Rostami, K; Sanders, DS; Schumann, M; Ullrich, R; Villalta, D; Volta, U; Catassi, C; Fasano, A. 2012. Spectrum of gluten-related disorders: Consensus on new nomenclature and classification. BMC Medicine 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/1741-7015-10-13>.

Saura-Calixto, F. 2011. Dietary fiber as a carrier of dietary antioxidants: An Essential Physiological Function (en línea). Journal of Agricultural and Food Chemistry 59(1):43–49. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf1036596>.

Scherf, KA; Köhler, P. 2016. Wheat and gluten: technological and health aspects. Ernährungs Umschau 63(8):166–175. DOI: <https://doi.org/10.4455/eu.2016.035>.

Schober, TJ. 2009. Manufacture of gluten-free specialty breads and confectionery products (en línea). Oxford, UK, Wiley-Blackwell. p. 130–180 DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444316209.ch9>.

Serna-Saldivar, SO; Gomez, MH; Rooney, LW. 2001. Food uses of regular and specialty corns and their dry-milled fractions. Nueva York, CRC Press.

Serratos Hernández, JA. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano (en línea). México, s.e. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en <https://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>.

Shewry, PR. 2002. Functional properties of seed proteins by genetic engineering. Nueva York, Marcel Dekker, Inc.

Shi, L; Li, W; Sun, J; Qiu, Y; Wei, X; Luan, G; Hu, Y; Tatsumi, E. 2016. Grinding of maize: The effects of fine grinding on compositional, functional and physicochemical properties of maize flour (en línea). *Journal of Cereal Science* 68:25–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.11.004>.

Shobha, D; Dileep Kumar, H V.; Sreeramasetty, TA; Puttaramanaik; Pandurange Gowda, K; Shivakumar, GB. 2014. Storage influence on the functional, sensory and keeping quality of quality protein maize flour (en línea). *Journal of Food Science and Technology* 51(11):3154–3162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0788-7>.

Shobha, D; Vijayalakshmi, D; Puttaramnaik; Asha, KJ. 2015. Effect of maize based composite flour noodles on functional, sensory, nutritional and storage quality. *Journal of Food Science and Technology* 52(12):8032–8040. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1890-4>.

Shuang-kui, D; Hongxin, J; Xiuzhu, Y; Jay-lin, J. 2014. Physicochemical and functional properties of whole legume flour (en línea). *LWT - Food Science and Technology* 55(1):308–313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>.

SIGMABIOTECH. 2017. 10 tendencias para el 2017 en la industria de alimentos y bebidas. (en línea, sitio web). Consultado 18 sep. 2018. Disponible en <http://sigmabiotech.es/10-tendencias->

para-el-2017-en-la-industria-de-alimentos-y-bebidas/.

Simitchiev, A; Dushkova, M; Toshkov, N; Dobrev, G; Koleva, A; Nenov, V. 2016. Rheological characteristics of extrudates from corn semolina enriched with tapioca flour. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 28(8):560–565. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-03-230>.

Singh, A; Das, M; Bal, S; Banerjee, R. 2014. Rice processing (en línea). Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC. p. 71–96 DOI: <https://doi.org/10.1201/b15246>.

Slavin, JL. 2008. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. (en línea). *Journal of the American Dietetic Association* 108(10):1716–31. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18953766>.

Taghdir, M; Mazloomi, SM; Honar, N; Sepandi, M; Ashourpour, M; Salehi, M. 2017. Effect of soy flour on nutritional, physicochemical, and sensory characteristics of gluten-free bread. *Food Science and Nutrition* 5(3):439–445. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.411>.

Tanhehco, E; Ng, P. 2008. Soft wheat quality. Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC.

Tireki, S. 2008. Technology of Cake Production. Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC. p. 149–158.

Torres, A; Rodríguez, M; Guerra, M; Granito, M. 2009. Factibilidad tecnológica de incorporar germen desgrasado de maíz en la elaboración de pasta corta (en línea). *Anales Venezolanos de Nutrición* 22:25–31. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <https://www.analesdenutricion.org.ve/ediciones/2009/1/art-5/>.

Torres, J; Torres-Gallo, R; Acevedo, D; Gallo, L. 2015. Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón (en línea). *Revista Vector* 10:14–25. Disponible en http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector10_3.pdf.

Tosh, SM; Yada, S. 2010. Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International* 43(2):450–460. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.005>.

Ulate Castro, E. 2006. Duodécimo Informe Estado de la Nación en el desarrollo humano sostenible: principales tendencias de la situación nutricional de la población de Costa Rica y su atención en el periodo 1996-2006 (en línea). s.l., s.e. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/012/Ulate_2006.pdf.

Del Valle, J. 2015. Efecto de la sustitución de harina de maíz con almidones de origen tropical (camote (*Ipomea batatas*), ñame (*Dioscorea esculenta*), tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*) y yuca (*Manihot esculenta*)) en el desarrollo de una tortilla de formulación industrial. Tesis de Licenciatura. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. 146 p.

Vega, A; Lara, E; Lemus, R. 2006. Isothermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*) (en línea). 26. s.l., s.e. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n4/16.pdf>.

Venugopal, V. 2011. Functional properties relevant to food product development. Marine Polysaccharides. Food Applications :27–61.

Villanueva, R. 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. Ingeniería Industrial (32):231–246.

Viquez, R. 2007. Efecto de la sustitución de harina por fibra sobre las características de calidad del pan dulce. Tesis de Licenciatura. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica.

Wattson, D. 2010. Aprovechamiento de la harina de pejibaye en la elaboración de alimentos enriquecidos con compuestos bioactivos beneficiosos y la evaluación de su aceptación sensorial en consumidores (en línea). . Disponible en <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2528>.

Weber, WJ; Borchardt, JA. 1979. Control de la calidad del agua : procesos fisicoquímicos (en línea). s.l., Reverté. Consultado 10 oct. 2018. Disponible en <https://books.google.co.cr/books?id=TLpzh5HQYvgC&pg=PA210&dq=diferencia+entre+adsorción+>

y+absorción&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil-bipn_zdAhVpkuAKHU8kDUsQ6AEIJAA#v=onepage&q=diferencia entre adsorción y absorción&f=true.

Weigel, JC; Loy, D; Kilmer, L. 2007. Los coproductos alimenticios derivados del proceso de la molienda húmeda del maíz: el uso de la harina de gluten de maíz. Nueva York, Iowa Department of Agriculture.

White, P. 2000. Properties of corn starch. s.l., CRC Press.

WHO (World Health Organization). 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases (en línea). World Health Organization technical report series 916(916):i–viii-1-149-backcover. DOI: [https://doi.org/ISBN 92 4 120916 X ISSN 0512-3054](https://doi.org/ISBN%2092%204%20120916%20X%20ISSN%200512-3054) (NLM classification: QU 145).

Willis, B; Okos, M. 2003. Stress and breakage in formed cereal products induced by drying, tempering and cooling. Nueva York, Marcel Dekker, Inc.

Yin, D; Yuan, J; Guo, Y; Chiba, LI. 2017. Effect of storage time on the characteristics of corn and efficiency of its utilization in broiler chickens (en línea). *Animal Nutrition* 3:252–257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.04.007>.

Yuan, J; Flores, RA. 1996. Laboratory dry-milling performance of white corn: Effect of physical and chemical corn characteristics. *Cereal Chemistry* 73(5):574–578.

Zhou, W; Therdthai, N. 2008. Heat and mass transfer during baking of sweet goods. Nueva York, Taylor & Francis Group, LLC. p. 178–188 DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420052770>.

Zucco, F; Borsuk, Y; Arntfield, SD. 2011. Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes (en línea). *LWT - Food Science and Technology* 44:2070–2076. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.007>.

ANEXOS

Cuadro XXXVI. Masas del subproducto de maíz retenidas por tamiz utilizadas para el análisis diferencial y acumulativo de tamaño de partícula.

Lote	Tamiz US estándar	Apertura (mm)	Masa (g)			Análisis diferencial		Análisis Acumulativo
			Tamiz vacío	Tamiz + muestra constante	Muestra retenida	Diámetro medio de partícula (mm)	Fracción retenida	Fracción acumulada
1	10	1,999	-	-	-	-	0	0
1	14	1,410	427,92	437,61	9,69	1,704	0,033	0,033
1	18	1,001	421,89	446,00	24,11	1,205	0,082	0,114
1	25	0,706	399,93	453,00	53,07	0,853	0,180	0,294
1	35	0,500	372,92	441,50	68,58	0,603	0,232	0,526
1	45	0,353	346,03	389,00	42,97	0,427	0,145	0,671
1	60	0,249	340,06	369,50	29,44	0,301	0,100	0,771
1	80	0,178	329,50	378,50	49,00	0,213	0,166	0,937
1	120	0,124	334,00	348,20	14,20	0,151	0,048	0,985
1	Plato	0	298,73	303,20	4,47	0,062	0,015	1,000
Total	-	-	-	-	295,53	-	1	-
2	10	1,999	-	-	-	-	-	0
2	14	1,410	427,92	447,92	20,00	1,704	0,068	0,068
2	18	1,001	422,00	450,00	28,00	1,205	0,095	0,163
2	25	0,706	400,00	445,00	45,00	0,853	0,153	0,315
2	35	0,500	373,50	404,50	31,00	0,603	0,105	0,420
2	45	0,353	346,50	417,00	70,50	0,427	0,239	0,659
2	60	0,249	340,50	414,00	73,50	0,301	0,249	0,908
2	80	0,178	330,00	345,50	15,50	0,213	0,053	0,961
2	120	0,124	334,00	341,70	7,70	0,151	0,026	0,987
2	Plato	0	299,00	302,80	3,80	0,062	0,013	1,000
Total	-	-	-	-	295,00	-	1	-
3	7	2,794	-	-	-	-	0	0
3	10	1,999	447,74	471,33	23,59	2,396	0,105	0,105
3	14	1,410	427,92	486,30	58,38	1,704	0,259	0,364
3	18	1,001	421,89	450,59	28,70	1,205	0,127	0,491
3	25	0,706	399,89	417,32	17,43	0,853	0,077	0,569
3	35	0,500	372,96	388,28	15,32	0,603	0,068	0,637
3	45	0,353	346,03	358,91	12,88	0,427	0,057	0,694
3	60	0,249	340,06	357,75	17,69	0,301	0,079	0,772
3	80	0,178	329,50	367,31	37,81	0,213	0,168	0,940
3	120	0,124	334,00	345,20	11,20	0,151	0,050	0,990
3	Plato	0	299,75	302,00	2,25	0,062	0,010	1,000
Total	-	-	-	-	225,25	-	1	-
0	10	1,999	-	-	-	-	0	0
0	14	1,410	419	433	14	1,704	0,024	0,024
0	18	1,001	422	462	41	1,205	0,070	0,094
0	25	0,706	400	505	105	0,853	0,181	0,275

Lote	Tamiz US estándar	Apertura (mm)	Masa (g)			Análisis diferencial		Análisis Acumulativo
			Tamiz vacío	Tamiz + muestra constante	Muestra retenida	Diámetro medio de partícula (mm)	Fracción retenida	Fracción acumulada
0	35	0,500	373	468	96	0,603	0,165	0,439
0	45	0,353	346	431	85	0,427	0,146	0,586
0	60	0,249	340	449	109	0,301	0,188	0,773
0	80	0,178	330	461	132	0,213	0,227	1,000
0	Plato	0	299	299	0	0,089	0,000	1,000
Total	-	-	-	-	580,50	-	1	-

Cuadro XXXVII. Masas del subproducto de maíz retenidas por tamiz utilizadas para el análisis diferencial y acumulativo de tamaño de partícula de las fracciones del tamiz 18 y 25 después de molidas.

Fracción	Lote	Tamiz US estándar	Apertura (mm)	Masa (g)			Análisis diferencial		Análisis Acumulativo
				Tamiz vacío	Tamiz + muestra constante	Muestra retenida	Diámetro medio de partícula (mm)	Fracción retenida	Fracción acumulada
18	1	18	1,001	422,00	422,00	0,00	-	0	0
18	1	25	0,706	400,00	437,00	37,00	0,853	0,1246	0,1246
18	1	35	0,500	373,00	521,00	148,00	0,603	0,4983	0,6229
18	1	45	0,353	346,50	405,50	59,00	0,427	0,1987	0,8215
18	1	60	0,249	340,50	388,00	47,50	0,301	0,1599	0,9815
18	1	Plato	0	298,50	304,00	5,50	0,125	0,0185	1,0000
			Total			297,00	-	-	-
25	1	18	1,001	-	-	-	-	0	0
25	1	25	0,706	400,00	428,50	28,50	0,853	0,095	0,095
25	1	35	0,500	373,00	527,00	154,00	0,603	0,516	0,611
25	1	45	0,353	346,50	411,00	64,50	0,427	0,216	0,827
25	1	60	0,249	340,50	387,00	46,50	0,301	0,156	0,983
25	1	Plato	0,000	299,00	304,00	5,00	0,125	0,017	1,000
			Total			298,50	-	-	-
18	2	14	1,410	-	-	-	-	0	0
18	2	18	1,001	421,92	422,45	0,53	1,205	0,003	0,003
18	2	25	0,706	399,95	408,67	8,72	0,854	0,050	0,053
18	2	35	0,500	373,05	427,20	54,15	0,603	0,308	0,361
18	2	45	0,353	346,27	370,01	23,74	0,427	0,135	0,496
18	2	60	0,249	340,63	358,36	17,73	0,301	0,101	0,596
18	2	80	0,178	329,95	374,89	44,94	0,213	0,256	0,852
18	2	120	0,124	334,31	355,42	21,11	0,151	0,120	0,972
18	2	Plato	0,000	298,85	303,76	4,91	0,062	0,028	1,000
			Total			175,83	-	-	-
25	2	18	1,001	421,92	-	-	-	0	0

Fracción	Lote	Tamiz US estándar	Apertura (mm)	Masa (g)			Análisis diferencial		Análisis Acumulativo
				Tamiz vacío	Tamiz + muestra constante	Muestra retenida	Diámetro medio de partícula (mm)	Fracción retenida	Fracción acumulada
25	2	25	0,706	399,91	403,32	3,41	0,854	0,023	0,023
25	2	35	0,500	372,97	423,33	50,36	0,603	0,333	0,355
25	2	45	0,353	346,32	377,50	31,18	0,427	0,206	0,561
25	2	60	0,249	340,48	370,29	29,81	0,301	0,197	0,758
25	2	80	0,178	329,86	349,86	20,00	0,213	0,132	0,890
25	2	120	0,124	334,31	346,66	12,35	0,151	0,082	0,971
25	2	Plato	0,000	298,60	302,93	4,33	0,062	0,029	1,000
Total						151,44	-	-	-
18	3	14	1,410	-	-	-	-	0	0
18	3	18	1,001	421,90	422,09	0,19	1,205	0,0010	0,0010
18	3	25	0,706	399,83	410,98	11,15	0,85	0,06	0,06
18	3	35	0,500	372,90	429,54	56,64	0,60	0,31	0,37
18	3	45	0,353	346,16	383,53	37,37	0,43	0,21	0,58
18	3	60	0,249	340,70	359,97	19,27	0,30	0,11	0,69
18	3	80	0,178	329,78	365,54	35,76	0,21	0,20	0,88
18	3	120	0,124	334,03	350,67	16,64	0,15	0,09	0,98
18	3	Plato	0,000	299,75	304,25	4,50	0,06	0,02	1,00
Total						181,52	-	-	-
25	3	18	1,001	421,88	421,96	-	-	0	0
25	3	25	0,706	399,88	404,10	4,22	0,85	0,03	0,03
25	3	35	0,500	373,00	428,81	55,81	0,60	0,36	0,39
25	3	45	0,353	346,26	377,52	31,26	0,43	0,20	0,60
25	3	60	0,249	340,67	363,77	23,10	0,30	0,15	0,75
25	3	80	0,178	329,92	354,48	24,56	0,21	0,16	0,91
25	3	120	0,124	334,19	343,54	9,35	0,15	0,06	0,97
25	3	Plato	0,000	299,75	304,52	4,77	0,06	0,03	1,00
Total						153,07	-	-	-

Cuadro XXXVIII. Información de las harinas comerciales utilizadas

Producto	Marca	Porción (g)	Grasa (g)	Carbohidratos (g)	Fibra dietética (g)	Proteína (g)	Ingredientes
Harina de trigo	Gold Medal	100	0	74	0	13	Harina de trigo, cloro gaseoso (agente oxidante), enzimas: alfa-amilasa, micronutrientes: tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, hierro (como fumarato ferroso).
Harina de arroz	Jinca Foods	100	1,5	31	2,5	6	Arroz
Harina de yuca	Jinca Foods	100	0,5	82	2	2	Yuca

Cuadro XXXIX. Resultados de los análisis de varianza de la composición química de las fracciones de subproducto de maíz.

Macronutriente	Fuente	Grados libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Probabilidad asociada	Potencia de la prueba (%)*
Humedad	Lote	2	29,185	14,592	53,315	< 0.0001	24,8
	Fracción	5	0,430	0,086	0,314	0,894	NA
Grasa	Fracción	2	68,559	34,279	46,190	< 0.0001	59,2
	Lote	5	6,411	1,282	1,728	0,216	NA
Proteína	Fracción	2	18,690	9,345	1,889	0,201	62,5
	Lote	5	8,386	1,677	0,339	0,878	NA
Fibra dietética	Fracción	2	319,239	159,620	9,669	0,005	NA
	Lote	5	718,746	143,749	8,707	0,002	NA
Almidón	Fracción	2	1409,788	704,894	17,086	0,001	NA
	Lote	5	930,204	186,041	4,510	0,021	NA

* Aplica para probabilidades mayores a 0,05. NA= no aplica.

Cuadro XL. Resultados de los análisis de varianza para las propiedades tecnológicas de las fracciones de subproducto de maíz y las muestras de referencia

Propiedad funcional	Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad asociada	Potencia de la prueba (%)*
CRA (g/g)	Lote	2	0,266	0,133	13,020	0,0003	NA
	Muestra	9	2,428	0,270	26,420	< 0,0001	NA
CAA (g/g)	Lote	2	0,169	0,084	15,977	0,000	NA
	Muestra	9	0,871	0,097	18,350	< 0,0001	NA
pH	Lote	2	0,122	0,061	13,070	0,000	NA
	Muestra	9	2,326	0,258	55,455	< 0,0001	NA
CFE (%)	Lote	2	222,618	111,309	10,590	0,001	NA
	Muestra	10	2639,666	263,967	25,114	< 0,0001	NA
EE10min (%)	Lote	2	895,998	447,999	3,374	0,055	89,3
	Muestra	10	4463,961	446,396	3,362	0,010	NA
EE30min (%)	Lote	2	2122,104	1061,052	5,481	0,013	NA
	Muestra	10	5874,772	587,477	3,035	0,017	NA
EE60min (%)	Lote	2	1993,991	996,996	4,294	0,028	NA
	Muestra	10	9606,189	960,619	4,137	0,003	NA
Densidad "floja" (g/mL)	Lote	2	0,045	0,023	19,257	< 0,0001	NA
	Muestra	9	0,148	0,016	13,970	< 0,0001	NA
Densidad remecida (g/mL)	Lote	2	0,033	0,016	8,970	0,002	NA
	Muestra	9	0,274	0,030	16,639	< 0,0001	NA

* Aplica para probabilidades mayores a 0,05. NA= no aplica.

Cuadro XLI. Capacidades de formación de espuma (CFE) y la estabilidad de la espuma (EE) de diferentes productos en diferentes tiempos.

Muestra	CFE (%)	EE 10min (%)	EE 30min (%)	EE 60min (%)
F 1205 µm	12,98 d	84,53 ab	61,60 ab	57,01 ab
F 853 µm	17,04 cd	87,43 ab	65,34 ab	47,60 ab
F 603 µm	13,85 d	90,51 ab	62,62 ab	43,93 b
F 427 µm	12,33 d	61,81 b	48,60 b	37,40 b
F 1205 µm molida	20,29 cd	72,40 ab	50,20 b	30,52 b
F 301 µm	14,21 d	76,84 ab	60,30 ab	41,19 b
F 853 µm molida	16,33 cd	88,31 ab	61,67 ab	34,97 b
F 213 µm	15,76 cd	93,21 ab	72,06 ab	51,63 ab
Mezcla	24,56 bc	100,81 a	85,01 ab	71,11 ab
Harina de trigo	32,22 b	74,87 ab	67,58 ab	59,35 ab
Clara de huevo	42,14 a	100,02 a	96,42 a	91,93 a

F: Fracciones de subproducto de maíz, Mezcla: arroz:yuca (50:50).

Letras con diferentes letras en una misma columna mostraron diferencias significativas ($\alpha=0,05$).

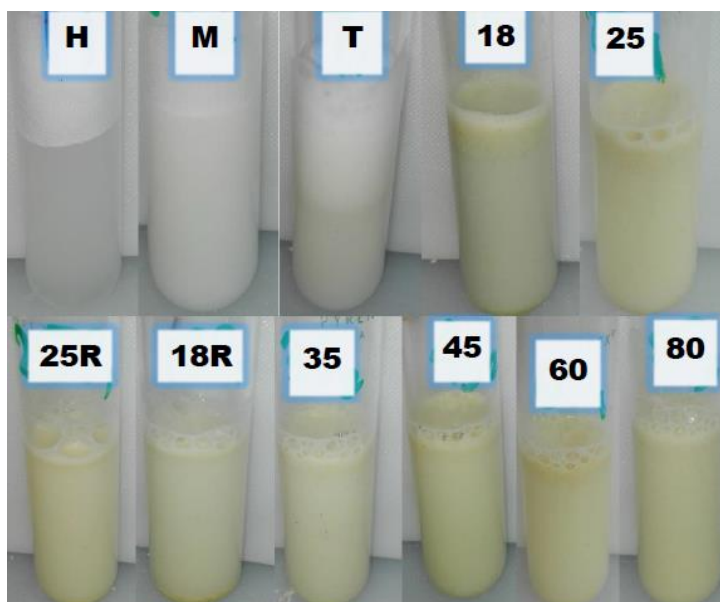


Figura 26. Capacidades de formación de espuma observadas de diferentes productos.

H: clara de huevo, M: mezcla harinas arroz:yuca (50:50), T: harina de trigo y las diferentes fracciones de subproducto de maíz según el tamiz donde fueron retenidas (18, 25, 35, 45, 60, 80, 18R: 18 reducida, 25R: 25 reducida).

Cuadro XLII. Resultados del análisis de varianza los parámetros de calidad de galletas y pan sin harina de trigo sustituidos con fracciones de subproducto de maíz

Variable de calidad	Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Probabilidad asociada	Potencia de la prueba (%) [*]
Masa final (g) ¹	Tratamiento	4	0,609	0,152	6,705	0,011	NA
	Lote	2	0,281	0,141	6,191	0,024	NA
Grosor (mm) ¹	Tratamiento	4	0,836	0,209	3,181	0,077	64,4
	Lote	2	0,034	0,017	0,256	0,780	
Diámetro (mm) ¹	Tratamiento	4	0,236	0,059	1,888	0,206	36,4
	Lote	2	0,045	0,023	0,721	0,515	
Extensibilidad ¹	Tratamiento	4	1,061	0,265	2,928	0,092	25,1
	Lote	2	0,071	0,035	0,392	0,688	
Altura (mm) ²	Tratamiento	4	125,884	31,471	21,916	0,000	NA
	Lote	2	2,458	1,229	0,856	0,460	37,5
Volumen específico (cm ³ /g) ²	Tratamiento	4	9,01E-06	2,25E-06	15,201	0,001	NA
	Lote	2	2,80E-06	1,40E-06	9,428	0,008	NA

1: medido en galletas.

2: medido en pan.

* Aplica para probabilidades mayores a 0,05. NA= no aplica.

Cuadro XLIII. Resultados del análisis de varianza de las pruebas de textura de pan y galletas sin harina de trigo sustituidos con fracciones de subproducto de maíz.

Parámetro	Característica	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad*	Potencia de la prueba (%)*
Dureza de galletas	Tratamiento	4	1,64	0,255	27,6
	Lote	2	7,54	0,014	NA
Dureza de pan	Tratamiento	4	10,70	0,003	11,3
	Lote	2	2,00	0,198	NA
Elasticidad de pan	Tratamiento	4	18,02	0,0005	31,2
	Lote	2	0,48	0,632	NA
Cohesividad de pan	Tratamiento	4	33,58	0,0001	32,3
	Lote	2	0,91	0,441	NA
Masticabilidad de pan	Tratamiento	4	10,53	0,003	31,5
	Lote	2	0,672	0,537	NA

*Efecto significativo $p < 0,05$

* Aplica para probabilidades mayores a 0,05. NA= no aplica.

Cuadro XLIV. Resultados del análisis de varianza de los parámetros de color de galletas y pan sin harina de trigo sustituidos con fracciones de subproducto de maíz.

Producto	Variable	Fuente	Grado de libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	Valor F	Prob	Potencia de la prueba (%)*
Galletas	Luminosidad	Tratamiento	4	46,436	11,609	87,564	<0,000	NA
		Lote	2	8,961	4,480	33,794	<0,000	NA
	Saturación	Tratamiento	4	85,443	21,361	11,471	0,002	NA
		Lote	2	16,369	8,185	4,395	0,052	26,3
	°Hue	Tratamiento	4	5,868	1,467	1,332	0,337	20
		Lote	2	1,477	0,739	0,671	0,538	
Luminosidad	Tratamiento	4	117,967	29,492	17,796	<0,000	NA	
	Lote	2	0,329	0,165	0,099	0,907	27,2	
Pan	Saturación	Tratamiento	4	159,653	39,913	29,319	<0,000	23,8
		Lote	2	7,696	3,848	2,827	0,118	
	°Hue	Tratamiento	4	24,204	6,051	12,876	0,001	26,0
		Lote	2	1,784	0,892	1,898	0,212	

Efecto significativo $p < 0,05$. * Aplica para probabilidades mayores a 0,05. NA= no aplica.

