

SUSTITUCIÓN DE LA HARINA DE TRIGO POR HARINAS COMPUESTAS E INGREDIENTES FUNCIONALES PARA LA ELABORACIÓN DE PANES LIBRES DE GLUTEN¹

[SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR BY COMPOUND FLOURS AND FUNCTIONAL INGREDIENTS FOR THE PREPARATION OF GLUTEN FREE BREADS]

Luisa Fernanda Castillo Hernández¹, María de la Luz Sánchez Mundo^{1§}, Víctor Rayo García¹, Selene García Nieves¹, María Esther González Miguel², Abril Ramírez Higuera³

¹Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6.0 Col. J. Mario Rosado, C.P. 96980. Las Choapas, Ver. México. ² Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Camino Real a San Mateo S/N Santa Ana Xamimilulco, Huejotzingo Puebla. ³ Instituto Tecnológico de Veracruz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Formando Hogar, 91897, Veracruz, Ver. [§]Autor para correspondencia: (sanchez_mundo@hotmail.com).

RESUMEN

El incremento de la enfermedad Celíaca ha originado el interés en el desarrollo de productos libres de gluten con un alto grado de aceptabilidad sensorial. El objetivo consistió en sustituir la harina de trigo por harinas compuestas e ingredientes funcionales para la elaboración de panes libres de gluten, evaluando las propiedades funcionales de las harinas y el grado de aceptación de productos de panificación. Se establecieron las condiciones de cocción, tiempo (T) y potencia (P) de secado, se determinó la Capacidad de Hinchamiento (CH) y Capacidad de Retención de Aceite (CRAc) en las harinas, la elaboración de los panes libres de gluten en 3 concentraciones y evaluación sensorial mediante una escala hedónica de 9 puntos. Las condiciones de secado fueron para lenteja (T= 25 min/P=50), garbanzo (T=24 min/P=60) y cáscara de cacao (T=20 min/P=50), los valores de CH para lenteja, garbanzo y cáscara de cacao fueron 5.07, 4.79 y 4.31 mL g⁻¹, mientras que los valores de CRAc fueron 2.31, 2.41 y 0.59 mL g⁻¹, respectivamente. La formulación con 45% lenteja/45% garbanzo/ 10% cáscara de cacao presentó mayor grado de aceptación. Las harinas obtenidas por deshidratación en microondas presentaron buenas propiedades funcionales y determinaron la calidad final de los productos libres de gluten como alternativa para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales.

Palabras clave: deshidratación, fibra, funcional, proteínas.

ABSTRACT

The increase in Celiac Disease has led to the interest in the development of gluten-free products with a high degree of sensory acceptability. The objective was to replace wheat flour with compound flours and functional ingredients for the elaboration of gluten-free breads, evaluating the functional properties of the flours and degree of acceptance of gluten-free bread products. Cooking conditions, time (T) and power (P) of drying, Swelling Capacity (CH), Oil Retention Capacity (CRAc) in the flours, preparation of the gluten-free breads in 3 concentrations and evaluation were standardized sensory using a hedonic scale of 9 points. The obtained conditions

¹ Recepción 25-abril-2019
Aceptación 12-septiembre-2019

were for lentil (T = 25 min / P = 50), chickpea (T = 24 min / P = 60) and cocoa husk (T = 20 min / P = 50), CH values for lentil, Chickpea and cocoa husk were 5.07, 4.79 and 4.31 mL g⁻¹, while the CRAc values were 2.31, 2.41 and 0.59 mL g⁻¹, respectively. The formulation with 45% lentil / 45% chickpea / 10% cocoa husk presented a higher degree of acceptance. The flours obtained by microwave dehydration presented good functional properties and determined the final quality of the gluten-free products as an alternative for the development of new functional foods.

Index words: Dehydration, fiber, functional, proteins.

INTRODUCCIÓN

En algunos estudios, se ha identificado que alrededor de un 3% de la población mundial padece enfermedad celíaca y hasta hace dos décadas estaba considerada una enfermedad poco frecuente, pero en la actualidad es una enfermedad generalizada a nivel mundial (Rafaelli *et al.*, 2017). La EC ha sido descrita como una enteropatía autoinmune que afecta el intestino delgado, atrofiando las vellosidades de la mucosa y generando mala absorción de los nutrientes (Pellegrini *et al.*, 2015). La Secretaría de Salud en 2018 estimó que en México más del 4.3% de la población padece la enfermedad celiaca. El incremento en el diagnóstico de la población celiaca y de las alergias por consumo de alimentos, ha originado un creciente interés en la continua expansión del mercado de productos libres de gluten que presenten una alta aceptabilidad sensorial (Pagliarini *et al.*, 2010; Deora *et al.*, 2015; Estévez y Araya, 2016; Miranda *et al.*, 2018).

Algunos investigadores han presentado resultados favorables al elaborar productos de panificación adicionados con harina de fuentes diferentes al trigo, así como la identificación de diversas mejoras nutricionales en productos basados en cereales libres de gluten con leguminosas añadidas (Foschia *et al.*, 2017). El empleo de las harinas mixtas o compuestas en las cuales se sustituye parcialmente el contenido de trigo, ha permitido elaborar una serie de alimentos con mejor valor nutricional, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y a mejorar la calidad de vida de los consumidores (Sacón-Vera *et al.*, 2016; Giuberti y Gallo, 2018). Se ha estudiado la reología y caracterización de harinas sustituidas parcialmente por harina de garbanzo y otras harinas compuestas, encontrando buenas propiedades reológicas en sustituciones de un 10% de harina de trigo (Mohammed *et al.*, 2012 y Calvopiña, 2018), por lo que la incorporación de la harina de garbanzo en un pan libre de gluten resulta factible en combinación con otras harinas compuestas.

Aguilar *et al.* (2011) realizaron un estudio con harina de lenteja (HL) mezclándola con harina de trigo (HT) (10% y 90%, respectivamente), teniendo como testigo HT (100%), se demostró que la mezcla de HT-HL presento menos actividad amilácea y parámetros menores de retención de gas que la HT (100 %), lo cual se explica por la baja cantidad de amilasa presente en la mezcla HT: HL.

Los pseudocereales y leguminosas presentan una mayor cantidad de fibra, ácidos grasos poliinsaturados, minerales y vitaminas que cereales como el arroz (Cervilla *et al.*, 2017). De acuerdo a Abarca-Rojas (2010), la cáscara y la testa de cacao son buenas fuentes de fibra dietaria insoluble, mientras que el mucílago es una buena fuente de fibra dietaria soluble. Los valores que presenta la fibra de la cáscara y la testa de cacao en las propiedades funcionales como capacidad de retención de agua (WRC) y capacidad de adsorción de grasa (FAC), son inferiores a los rangos

establecidos para valorar la fibra como de alta WRC y FAC. El aprovechamiento integral de la cáscara de cacao se considera una excelente fuente para su obtención ya que contiene alrededor del 36% de fibra dietaria.

Para mejorar la calidad nutricional y las características sensoriales de los productos elaborados con harinas sin gluten, se han empleado modificaciones físicas sobre el almidón y las proteínas que permitan obtener productos de calidad semejantes a los productos con gluten. El tratamiento hidrotérmico mediante radiación microondas es un método de calentamiento convencional donde las ondas electromagnéticas (frecuencias entre 1- 300 GHz) son absorbidas por las moléculas polares e ionizables, generando un rápido aumento de la temperatura de la muestra (Villanueva *et al.*, 2018). La humedad de la harina está relacionada con la temperatura adquirida. Manso (2018) modificó harinas sin gluten de alto valor nutricional por tratamiento con microondas, evaluando su efecto sobre las fracciones proteicas, el cual ejerce un efecto significativo sobre los aminoácidos libre de las harinas en estudio. Anangonó (2019) reportó resultados que evidenciaron la factibilidad de la tostación del maíz por calentamiento microondas para futuros ensayos en la ciencia aplicada.

En consideración a lo anterior, la presente investigación propone la sustitución de la harina de trigo por harinas compuestas secadas por microondas de leguminosas obtenidas a partir de lenteja y garbanzo, así como adición de polvo de cáscara de cacao como ingrediente funcional para la elaboración de panes libres de gluten.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Usos Múltiples, en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, ubicado en el municipio de Las Choapas, Veracruz, México y en el Laboratorio de Procesos Alimentarios en la Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Puebla.

Como parte del material vegetal utilizado para la elaboración de los productos de panificación, se emplearon semillas de lenteja y garbanzo que fueron adquiridas en un centro comercial del municipio de Las Choapas; mientras que la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la variedad criollo, fue proporcionada por el Rancho “Emiliano Zapata” ubicado en la Ciudad de Comalcalco, Tabasco, México.

El resto de las materias primas fueron proporcionadas por Grupo “La Florida”, empresa dedicada a la producción y distribución de insumos para panificación y repostería.

Obtención de las harinas de leguminosas

Se seleccionaron y limpiaron los granos con el fin de eliminar partículas extrañas, seguido de un acondicionamiento de las semillas para eliminar los compuestos antinutricionales, el cual consistió en colocar las semillas en agua calcificada durante 18 h para el caso del garbanzo y para las lentejas 1 h 40 min a una temperatura de 60 °C (Figura 1). Posteriormente se llevó a cabo un lavado manual y se sometieron a un proceso de cocción en autoclave por 1:10 min para las semillas de garbanzo y 40 min para las semillas de lentejas. Al término se procedió a realizar nuevamente un lavado para remover la cascarilla de los granos, seguido de una semi-molienda en el mortero; posteriormente

someterlas a secado en un microondas Panasonic (NN-SB646S; 1,100 W). Las muestras secas fueron trituradas en un molino para granos de acero inoxidable (KRUPS®) y tamizadas en una malla #100 hasta alcanzar un tamaño de partículas homogéneo. Las harinas fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético, debidamente etiquetadas y almacenadas a temperatura ambiente para mantener sus propiedades funcionales hasta su uso posterior.



Figura 1. Eliminación de compuestos antinutricionales de las leguminosas por inmersión en agua
a) Garbanzo; b) lenteja.

Obtención de polvo de cáscara de cacao (PCC)

Se seleccionaron las cáscaras de cacao libres de daño, maduras y libres de partículas extrañas y se les retiró el mucílago, posteriormente fueron cortadas en pequeños trozos y sometidas en una inmersión en ácido cítrico al 3% para disminuir el grado de oxidación. Los trozos fueron triturados en la licuadora hasta obtener una pasta semi-sólida y someterla al secado por microondas para iniciar el secado y determinar la estandarización de tiempo y potencia adecuada.

Por último, la muestra fue triturada en un molino para granos de acero inoxidable (KRUPS®) hasta obtener el polvo que fue tamizado en una malla #100 y finalmente fue colocado en bolsas plásticas con cierre hermético, debidamente etiquetado y almacenado a temperatura ambiente para su uso posterior.

Para cada una de las muestras de harinas obtenidas se calculó el rendimiento, expresado como la cantidad de harina obtenida en función de la cantidad de granos utilizados, mediante la siguiente expresión (Mancheno y Salgado, 2018):

$$\text{Rendimiento de la harina (\%)} = \frac{\text{Peso de la harina}}{\text{Peso de grano con cáscara}} \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Caracterización funcional de las harinas y polvo de cáscara de cacao

A 1 g de harinas y polvo de cáscara de cacao se le adicionó 10 mL de aceite de girasol y se mantuvo en agitación durante 30 min. Posteriormente, se centrifuga a 4750 rpm durante 30 min. Después de centrifugar se midió el volumen del sobrenadante. Por diferencia entre el volumen inicial de aceite y el volumen recuperado, se determinó la capacidad de retención de aceite (CRAc) expresada en mL g⁻¹ de acuerdo a la ecuación (2) (Balbín, 2018).

Cálculos

$$CRAc (mL g^{-1}) = \frac{V_0 - V_1}{g} \quad (Ec.2)$$

Donde: **CRAc**, V0 = volumen inicial de aceite. V1= volumen recuperado y g = gramo de muestra

Se pesaron 2.5 g de muestra en una probeta graduada y se adicionó un exceso de agua (30 mL) y se agitó manualmente. Se dejó en reposo durante 24 h, a temperatura ambiente de 27 °C ± 0.5 y luego se midió el volumen final (Vf) de la muestra en mL. El resultado de Capacidad de Hinchamiento (CH), se obtuvo aplicando la ecuación (3) (Balbín, 2018).

Cálculos

$$CH = \frac{V_f (mL)}{g} \quad (Ec.3)$$

Donde: **CH** = Vf = volumen final de muestra en mL y g = peso de muestra

Diseño de la formulación y proceso de elaboración del panqué

En el Cuadro 1 se presentan las diferentes combinaciones de las harinas estudiadas para la elaboración de los productos de panificación tipo panqué.

Cuadro 1. Formulación de las harinas libres de gluten (lenteja, garbanzo y cáscara de cacao) para la elaboración de los productos de panificación.

Formulaciones	Harina de trigo (%)	Lenteja (%)	Garbanzo (%)	Cáscara de cacao (%)
Control	90	-	-	10
F1	-	60	30	10
F2	-	30	60	10
F3	-	45	45	10

Fuente: Elaboración propia

Se inició con el pesado de todos los ingredientes para cada formulación tal como se indica en el Cuadro 2. Una vez obtenidos se procedió con el batido manual de la mantequilla durante 2 min., se añadió el azúcar y los huevos hasta la completa formación del batido. A continuación se adicionaron poco a poco los ingredientes secos junto con la leche y esencia de vainilla y se mezclaron durante 6 min hasta obtener la masa libre de grumos, la mezcla fue colocada en los moldes (250 g/molde) y se hornearon a una temperatura de 180°C por 30 min. Una vez transcurrido este tiempo los panques se retiraron del molde dejándolos enfriar para poder realizar los análisis correspondientes.

Para evaluar el nivel de agrado de los productos de panificación se realizó una prueba afectiva del grado de aceptación con tres formulaciones con diferentes porcentajes de sustitución de cada una de las harinas estudiadas. El panel sensorial estuvo conformado por 50 jueces no entrenados

con edades comprendidas entre 17 y 45 años. Las muestras fueron presentadas a los jueces simultáneamente y codificadas con números de tres dígitos y aleatorios. Los atributos analizados fueron: sabor, dulzor, color, textura, esponjosidad, aspecto de la miga y aceptabilidad general según una escala hedónica de nueve puntos.

Cuadro 2. Ingredientes usados en la elaboración del producto de panificación libre de gluten con sus diferentes formulaciones.

Ingredientes	Control	F1	F2	F3
Harina de trigo (g)	225	-	-	-
Harina de lenteja (g)	-	150	75	112.5
Harina de garbanzo (g)	-	75	150	112.5
Polvo de cáscara de cacao (g)	25	25	25	25
Polvo para hornear (g)	15	15	15	15
Azúcar (g)	200	200	200	200
Bicarbonato de sodio (g)	2	2	2	2
Mantequilla (g)	87.5	87.5	87.5	87.5
Huevo (g)	10	10	10	10
Leche (mL)	200	200	200	200
Vainilla (mL)	15	15	15	15

Diseño experimental

Se utilizó un análisis estadístico completamente al azar empleando tres formulaciones con tres repeticiones. Cada una de las harinas y formulaciones fueron caracterizadas por triplicado, a su vez todos los datos registrados fueron analizados y procesados con el paquete estadístico Minitab 18, aplicando el análisis de varianza y la prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de las harinas de leguminosa y polvo de cáscara de cacao

En el Cuadro 3 se observa que el garbanzo y la lenteja presentan diferentes condiciones en los procesos de remojo y cocción, esto debido a la dureza y tamaño de los granos por lo que se necesita mayor tiempo en las semillas del garbanzo. Estos tratamientos se emplean para eliminar los compuestos antinutricionales, reportándose que el uso de la autoclave y la fermentación son efectivos en la reducción de ácido fítico presente en semillas de leguminosas (Laleg *et al.*, 2016), estos tratamientos podrían aplicarse a las semillas de leguminosas antes de ser incluidas en la dieta humana para asegurar la calidad y seguridad de los alimentos (Giuberti y Gallo, 2018).

Otros factores a los que se pueden atribuir tales resultados son la composición química (humedad, a_w) y propiedades funcionales (capacidad de retención de agua) presentes en dichas muestras. Se ha reportado que el contenido de agua de las muestras con una humedad del 30 % tras el tratamiento microondas desciende hasta valores en torno al 10% (Villanueva *et al.*, 2018).

Existen trabajos empleando modificación física de harinas para evaluar el efecto del tratamiento hidrotérmico asistido por microondas sobre las proteínas de las harinas (Pérez *et al.*, 2017, Pérez *et al.*, 2016; Villanueva *et al.*, 2018; Manso, 2018). Se ha encontrado que el secado asistido por microondas ofrece ventajas sobre los secadores convencionales de aire caliente, tales como: los tiempos de secado más cortos, el aumento de la eficiencia energética y el potencial de la reducción del tamaño de los equipos de secado requeridos (Altan & Maskan, 2005; Alvarado, 2017).

Según lo reportado por Prodanov *et al.* (2004) las muestras (lenteja y garbanzo) fueron deshidratadas a una temperatura de 60-85°C durante 14 h; en donde además de ser un proceso muy lento (velocidad del aire aprox. 1.2 m s⁻¹) su uso representa un mayor costo. Mediante el secado de la harinas por microondas se obtuvo un rendimiento de 61% de harina de garbanzo, 68.5% de lenteja y 32.45% de polvo de cáscara de cacao, siendo un buen resultado considerando el menor tiempo y bajo costo en su uso en comparación con métodos como la liofilización y secado por convección. De acuerdo a Villamizar *et al.* (2016) el rendimiento de la cáscara de cacao por secado en charolas fue de 37.3% observando así una mínima diferencia entre ambos métodos de secado, lo cual indica otra ventaja en el uso del microondas para la obtención de harinas (Figura 2).

Cuadro 3. Estandarización de las condiciones previas para el deshidratado en microondas de las muestras de leguminosas y cáscara de cacao.

Muestras	Condiciones		Tiempo (min)	Potencia (W)	Rendimiento de la harina (%)
	Remojo	Cocción			
Garbanzo	t= 16-18 h T ^a = 37°C	t= 1 h 10 min T ^a = 100°C.	24	60	61
Lenteja	t= 1 h 40 min T ^a = 60° C	t= 40 min T ^a = 100°C.	25	50	68.3
Cáscara de cacao	-----	-----	20	50	32.45



Figura 2. Obtención de harinas y polvo de cáscara de cacao por secado en microondas. a) Proceso de secado de muestras; b) harina de garbanzo (HG); c) harina de lenteja (HL) y d) polvo de cáscara de cacao (PCC).

Valencia *et al.* (2011) secaron manzanas reduciendo el tiempo de secado a 180 y 120 min para temperaturas de 45 °C y 60 °C, así como un aumento en la resistencia al corte después de secarse. El proceso de secado por microondas también ha sido aplicado a fresas, reportándose rendimientos de 0.45 Kg de agua removida por cada kWh consumida el cual se reduce luego de 15 min de operación en función de la pérdida de humedad de la muestra (Alvarado, 2017).

Caracterización funcional de las harinas y polvo de cáscara de cacao

En cuanto a la CRAC se observó que los valores para la harina de garbanzo y lenteja fueron estadísticamente similares en comparación con el polvo de la cáscara de cacao (Cuadro 4); según Granito *et al.* (2007) en un estudio sobre el efecto del procesado industrial sobre la CRAC en leguminosas después del deshidratado por liofilización se obtuvieron valores de 1.15 mL g⁻¹ para el garbanzo y 0.90 mL g⁻¹ para la lenteja, los cuales son menores con respecto a los datos obtenidos en el deshidratado por microondas. Estas variaciones de CRAC entre las leguminosas se pueden atribuir al tamaño de la partícula de la harina y al contenido de almidón y proteína presente. En el caso de la cáscara de cacao, el valor de 0.59 mL g⁻¹ es menor en comparación con lo reportado por Shing *et al.* (2000) con 3.3 mL g⁻¹ indicando que la CRAC es mayor en alimentos que tienen alto contenido de fibra insoluble, debido a que las moléculas son atrapadas en su mayoría gracias al tamaño de las moléculas de la fibra.

Mientras que en los valores de la CH de las leguminosas y polvo de cáscara de cacao se observan valores similares que oscilan entre 1-2.5% en las muestras de leguminosas y atribuida principalmente a la fracción de almidón presente en las leguminosas; asimismo cabe destacar la relación existente entre el aumento del contenido en almidón disponible a lo largo del proceso industrial de deshidratación, y el que se produce en la CH a medida que se llevan a cabo las etapas del proceso.

Cuadro 4. Determinación de las propiedades funcionales en las harinas libres de gluten.

Muestras	CRAC (mL g ⁻¹)	CH (mL g ⁻¹)
Harina de garbanzo	2.41 ± 0.02 ^a	4.79 ± 0.07 ^b
Harina de lenteja	2.31 ± 0.04 ^a	5.07 ± 0.01 ^a
Polvo de cáscara de cacao	0.59 ± 0.05 ^b	4.31 ± 0.01 ^c

Los valores medios de cada columna con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Valor medio ± desviación estándar (n = 3).

Obtención de los productos de panificación libres de gluten

Al analizar la estructura de la miga de los panes, se pudo observar que la mayor uniformidad alveolar se presentó en la formulación 3 (Figura 3d), semejante a la del pan 100% de trigo (Figura 3a). En general, la miga de los panes evaluados (Figura 3b y c) presentó un mayor porcentaje de alveolos con tamaño pequeños con forma irregular y poco homogéneo en el área analizada. Esta característica es un factor común en los panificados libres de gluten debido a la débil retención de los gases que se generan durante el leudado y la cocción (Miranda *et al.*, 2018). En panes sustituidos con 25% de harina de garbanzo se han reportado inconsistencias al momento de formar la miga (Vega *et al.*, 2015) lo cual pudiera ser un problema de moldeo, sin embargo la harina de garbanzo

por su contenido de aminoácidos es en gran medida la responsable del color amarillo de los panes (Pathania *et al.*, 2017).

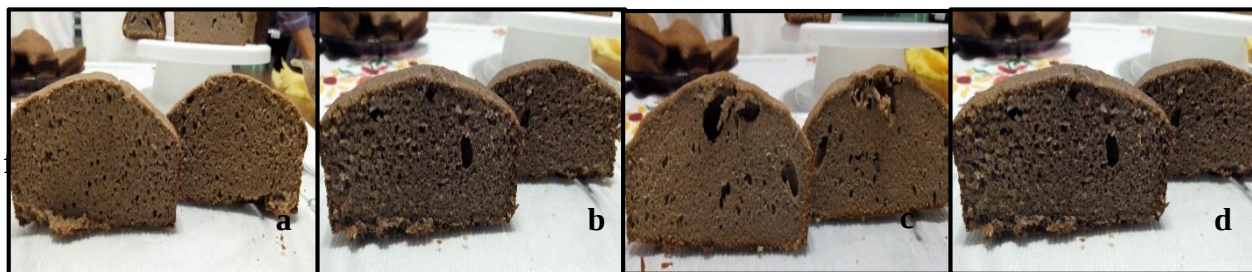


Figura 3. Panques libres de gluten. a) Muestra control (90% HT-10 % PCC); b) Fórmula 1 (60% HL-30 HG-10% PCC); c) Fórmula 2 (30%HL-60%HG-10%PCC); d) Fórmula 3 (45 %HL-45%HG-10%PCC). Donde: HT: harina de trigo, HL: harina de lenteja, HG: harina de garbanzo y PCC: polvo de cáscara de cacao.

Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial de los productos de panificación libres de gluten, indicaron que la formulación 3 (45% HL/45% HG/10% PCC) obtuvo el mayor grado de aceptación con respecto a la muestra control de acuerdo a la evaluación de los jueces, seguida de la formulación 2 (30 % HL-60 % HG-10 % PCC) siendo la formulación 1 (60 % HL-30 HG-10% PC) la de menor aceptación con diferencias estadísticas con respecto al blanco. Lo indica que dicha concentración de las harinas es el ideal debido al porcentaje de proteínas presentes en ambas harinas de leguminosas que determinaron la calidad final del producto.

Se ha estudiado la influencia de la sustitución parcial (15% y 30%) de harina de trigo por harina de garbanzo y los productos fueron aceptables en términos de peso, volumen, textura y estructura de la miga (Hefnawy *et al.*, 2012; Nazate, 2019); también la sustitución parcial del 20% de harina de garbanzo en galletas libres de gluten fue la más aceptada en atributos de textura y sabor (Aguirre, 2019), panes de harina de lenteja en la prueba sensorial no presentaron diferencia significativa en cuanto al nivel de agrado, con respecto al elaborado con harina de trigo (Aguilar *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2014; Medina *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

El método de secado de microondas resultó una buena alternativa para la obtención de las harinas compuestas de lenteja y garbanzo con rendimientos de 61-63%. Se obtuvo un producto de panificación con harinas compuestas de leguminosas y polvo de cáscara de cacao presentando propiedades funcionales por su contenido de proteínas, compuestos fenólicos y fibra que aportan las leguminosas y la cáscara de cacao. El pan libre de gluten con la formulación de 45% HL/45% HG/10% PCC fue el de mayor grado de aceptación por los catadores, destacando las propiedades sensoriales de textura y apariencia general similares a los productos elaborados con gluten.

AGRADECIMIENTOS

M.L.S.M agradece al Tecnológico Nacional de México por el apoyo financiero del proyecto TNM 579.18 PD 2017. “Elaboración y caracterización de un alimento funcional a partir de cáscara de

cacao”. De igual forma a la Red “Bioproductos y Bioprocesos” del Programa DELFIN y al Instituto Tecnológico de Orizaba.

LITERATURA CITADA

- Abarca-Rojas, D. H. 2010. Identificación de fibra dietaria en residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Variedad: Complejo nacional por trinitario. Escuela de ingeniería en industrias agropecuarias área biológica. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja – Ecuador.
- Aguilar J., J. Esparza, J. Meza, M. Candelas, O. Aguilera y P. Ramírez. 2011. Efecto de la harina de lenteja (*Lens culinaris*) sobre propiedades reológicas y de panificación de la harina de trigo. Facultad de Ciencias Químicas 2: 4-9.
- Aguirre-Torres, L.E. 2019. Diseño y desarrollo de galletas dulces destinada a personas celiacas. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. 69 p.
- Altan, A. & M. Maskan. 2005. Microwave Assisted Drying for Short-Cut (Ditalini) Macaroni: Drying Characteristics and Effect of Drying Processes on Starch Properties. Food Research International. 38: 787-796.
- Alvarado-Bawab, M.F. 2017. Estudio del proceso de secado de fresa usando horno de microondas. Prospect. 15(1): 29-34. Doi: <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i1.658>.
- Anangonó-Guagala, S.O. 2019. Determinación de cambios internos en el grano de maíz Carhuay (*Zea mays* amilácea) tratado con microondas. Tesis de Licenciatura. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. Ecuador.
- Balbín-Chuquillanqui, Y. 2018. Influencia de la cocción por vía húmeda y seca en las propiedades funcionales de harina de semilla de calabaza. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Centro del Perú. 36-37 p.
- Calvopiña-Armas, J.A. 2018. Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en pan libre de gluten. Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 15-16 p.
- Cervilla N. S y P. P. Miranda Villa. 2017. Aprovechamiento integral del grano de quinoa: aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales. Universidad Nacional de Córdoba 1: 71-98.
- Deora, N. S., A. Deswal & H.N. Mishra. 2015. Functionality of alternative protein in gluten-free product development. Food Science and Technology International 21(5): 364-379.
- Estevez, V. y M. Araya. 2016. La dieta sin gluten y los alimentos libres de gluten. Revista Chilena de Nutrición. 43(4): 428-433.
- Foschia, M., S.W. Horstmann, E. K. Arendt & E. Zannini. 2017. Legumes as functional ingredients in gluten-free bakery and pasta products. Annual Review of Food Science and Technology 8: 75–96.
- Giuberti, G. & A. Gallo. 2018. Reducing the glycemic index and increasing the slowly digestible starch content in gluten-free cereal-based foods: a review. International Journal of Food Science and Technology 53: 50-60. DOI:10.1111/ijfs.13552
- Granito, M., Y. Brito, & A. Torres. 2007. Chemical composition, antioxidant capacity and functionality of raw and processed *Phaseolus lunatus*. Journal of the Science of Food and Agriculture 87: 2801-2809.
- Hefnawy, T. M. H., G. A. El-Shourbagy & M. F. Ramadan. 2012. Impact of adding chickpea (*Cicer arietinum* L) flour to wheat flour on the rheological properties of toast bread. International Food Research Journal 19(2): 521-525.

- Laleg, K., D. Cassan, C. Barron, P. Prabhasankar, & V. Micard. 2016. Structural, culinary, nutritional and anti-nutritional properties of high protein, gluten free, 100% legume pasta. *PLOS One* 11 (9):1–19.
- Mancheno-Flores, C.I. y I.P. Salgado-Tello. 2018. Rendimiento y caracterización, química, mineral y sensorial, de tres tipos de harina de habas (*Vicia faba*) para la elaboración de un embutido fermentado. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. ISSN: 2254-7630. 7 p.
- Manso-Refoyo, S. 2018. Modificación de harinas sin gluten de alto valor nutricional por tratamiento microondas. Efecto sobre las fracciones proteicas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Valladolid. España. 18 -19 p.
- Manso-Refoyo, S. 2018. Modificación de harinas sin gluten de alto valor nutricional por tratamiento microondas. Efecto sobre las fracciones proteicas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Valladolid. España. 31-31 p.
- Medina-Rochin, J. J., K. Ramírez, J. G. Rangel-Peraza, y J. Aguayo-Rojas. 2018. Incremento del valor nutrimental, actividad antioxidante y potencial inhibitorio de α -glucosidasa en brownies a base de leguminosas cocidas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 68(2): 164-174.
- Miranda-Villa, P.P., J.R. Mufari, A. E., Bergesse, A. M. Planchuelo, y E.L. Calandri. 2018. Calidad nutricional y propiedades físicas de panes libres de gluten. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* 38 (3):46-55. DOI: 10.12873/383miranda.
- Mohammed, I., A. R. Ahmed, & B. Senge, 2012. Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products* 36(1): 196-202. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.006>
- Nazate-Nazate, L.A. 2019. Influencia de la harina de papa *Solanum tuberosum* y harina de garbanzo *Cicer arietinum* sobre las características estructurales y sensoriales de un pan bajo en gluten. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 11-13 p.
- Pagliarini, E., M. Laureati & V. Lavelli, 2010. Sensory evaluation of gluten free-breads assessed by a trained panel of celiac assessors. *European Food Research and Technology* 231: 37-46.
- Pathania S, A. Kaur, & P. A. Sachdev. 2017. Chickpea flour supplemented high protein composite formulation for flatbreads: effect of packaging materials and storage temperature on the ready mix. *Food Packaging and Shelf Life* 11: 125–132. DOI: 10.1016/j.fpsl.2017.01.006.
- Pellegrini, N. & C. Agostoni. 2015. Nutritional aspects of gluten-free products. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95 (12): 2380-2385.
- Pérez-Quirce, S., C. Collar, & F. Ronda. 2014. Significance of healthy viscous dietary fibers on the performance of gluten-free rice-based formulated breads. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1375–1382.
- Pérez-Quirce, S., F. Ronda, A. Lazaridou & C. G. Biliaderis. 2017. Effect of Microwave Radiation Pretreatment of Rice Flour on Gluten-Free Breadmaking and Molecular Size of β -Glucans in the Fortified Breads. *Food and Bioprocess Technology* 10(8): 1412–1421. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1910-7>
- Pérez-Quirce, S., F. Ronda, C. Melendre, A. Lazaridou & C. G. Biliaderis. 2016. Inactivation of Endogenous Rice Flour β -Glucanase by Microwave Radiation and Impact on Physico-chemical Properties of the Treated Flour. *Food and Bioprocess Technology* 9(9): 1562–1573. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1741>
- Pérez-Quirce, S., F. Ronda, C. Melendre, A. Lazaridou, & C. G. Biliaderis .2016. Inactivation of endogenous rice flour β -glucanase by microwave radiation and impact on physico-chemical properties of the treated flour. *Food and Bioprocess Technology*, 9(9), 1562–1573
- Prodanov, M., I. Sierra, & C. Vidal-Valverde. 2004. Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. *Food Chemistry* 84: 271-277.

- Rafaelli, C., N. Poggio, V. Neglia, M. V. Rodríguez-Estoup, G. Osorio-González, E.M. Buonsante, M. Luján-Pestalardo, R. Bistoletti, A. Abeldaño, y P. Viudez. 2017. Prevalencia de la enfermedad celíaca en los pacientes con psoriasis. *Dermatología Argentina* 23 (1): 23-28.
- Sacón-Vera, E. F., I. I. Bernal-Bailón, A. A. Dueñas-Rivadeneira, G. A. Cobeña-Ruiz, y N. López-Bello. 2016. Reología de mezclas de harinas de camote y trigo para elaborar pan. *Tecnología Química* 36(3): 384-394.
- Secretaria de Salud. 2018. Al momento, Destacadas, salud y genoma. Revista electrónica. Toluca, Estado de México. Consultado: 07/08/2019. Disponible en <https://almomento.mx/secretaria-de-salud-informa-sobre-consumo-de-gluten/>
- Shing-Young, L., L. Jung-Suk & K. IkBoo. 2000. Cacao extract including dietary fiber. World Intellectual Property Organization. Patent No. WO0062631. 2000
- Torres-González, M.P., M. T. Jiménez-Munguía y M.E., Bárcenas-Pozos. 2014. Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 8(1): 94-102.
- Valencia, C. S. Y., H.L.F. Rodríguez y P.G. A. Giraldo. 2011. Cinética de la deshidratación y control de la oxidación en manzana *Granny smith*, mediante la aplicación de diferentes métodos de secado. *Revista Tumbaga* 6:7-16.
- Vega, O., R. De Marco, y C. Di-Risio. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasa y lipasa. *Revista EIA* 12(24): 9–10.
- Villamizar, J. Y., J. Rodríguez-Guerrero y L. León-Castrillo. 2016. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) variedad CCN-51. *Cuaderno Activa* 9: 65-75.
- Villanueva-Barrero, M., J. Harasym, J. M. Muñoz & F. Ronda-Baibás. 2018. Microwave absorption capacity of rice flour. Impact of the radiation on rice flour microstructure, thermal and viscometric properties. *Journal of Food Engineering* 224: 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.030>.