

Artículo de Investigación

Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan libre de gluten a base de pseudocereales y subproducto de la agroindustria

Physicochemical and sensory evaluation of a gluten-free bread based on pseudocereals and agroindustry byproduct

Tomás Galicia García¹: Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

tgalicia@uach.mx

Vanessa Trejo Alarcón: Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

p301835@uach.mx

Benjamín Ramírez-Wong: Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos Universidad de Sonora, México.

benjamin.ramirez@unison.mx

Iván Estrada Moreno: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV-Chihuahua, México.

ivan.estrada@cimav.edu.mx

Beatriz Portillo Arroyo: Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

bportillo@uach.mx

Cesar Soto Figueroa: Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

csotof@uach.mx

Fecha de Recepción: 11/06/2024

Fecha de Aceptación: 18/08/2024

Fecha de Publicación: 22/10/2024

¹ **Autor Correspondiente:** Tomás Galicia García. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua (México).

Cómo citar el artículo

Galicia García, T., Trejo Alarcón, V., Ramírez-Wong, B., Estrada Moreno, I., Leal Ramos, Y., Portillo Arroyo, B. y Soto Figueroa, C. (2024). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan libre de gluten a base de pseudocereales y subproducto de la agroindustria [Physicochemical and sensory evaluation of a gluten-free bread based on pseudocereals and agroindustry byproduct]. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 01-16. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1172>

Resumen

Introducción: La enfermedad celiaca (EC) es una enfermedad crónica, de origen autoinmune, se genera por la exposición en la alimentación al gluten, entre el 1% al 3% de la población mundial llegan a manifestarla. **Metodología:** Se realizó un acondicionamiento y caracterización de las materias primas empleadas (Harina de arroz, amaranto y quinoa) para posteriormente obtener los tratamientos de pan en base a un diseño experimental de mezclas. Para su análisis se emplearon gráficos de superficie de respuesta. Las variables independientes empleadas fueron volumen específico (VE), altura (A), dureza (D). Del tratamiento optimizado se comparó con un producto comercial libre de gluten mediante su declaración nutrimental y análisis sensorial. **Resultados y discusión:** De los diez tratamientos elaborados, el pan hecho con 100% harina de arroz fue el que presentó mayor altura (10,8 cm), dureza (139,52 N) y menor volumen específico (1,99 cm³/g). El pan optimizado presentó 9 g de proteína, 44 g de carbohidratos, 1 g de fibra dietética. La preferencia sensorial del pan optimizado fue significativa (95%) sobre el pan comercial. **Conclusión:** Por lo que el tratamiento optimizado es una alternativa potencial para el consumidor que presenta EC, así como aquellos que busca incluir en su alimentación la búsqueda de alimentos más saludables.

Palabras clave: pan libre de gluten, pseudocereales, arroz, subproducto, caracterización fisicoquímica, evaluación sensorial, enfermedad celiaca, diseño de mezclas.

Abstract

Introduction: Celiac disease (CD) is a chronic disease, of autoimmune origin, it is generated by dietary exposure to gluten, which between 1% to 3% of the world's population manifests. **Methodology:** A conditioning and characterization of the raw materials used was carried out (proximate analysis, absorption index and solubility in water) to subsequently obtain the bread treatments based on an experimental design of mixtures. Response surface graphs were used for analysis. The independent variables used were specific volume (VE), height (A), hardness (D). The optimized treatment was compared with a commercial gluten-free product through its nutritional declaration and sensory analysis. **Results and Discussions:** Of the ten treatments prepared, the bread made with 100% rice flour was the one with the highest height (10,8 cm), hardness (139,52 N) and the lowest specific volume (1,99 cm³/g). The optimized bread presented 9 g of protein, 44 g of carbohydrates, 1 g of dietary fiber. The sensory preference of the optimized bread was significant (95%) over the commercial breads with which it was compared. **Conclusion:** Therefore, the optimized treatment presents a potential alternative for consumers with CD, as well as those who seek to include healthier foods in their diet.

Keywords: gluten-free bread, pseudocereals, rice, by-product, physicochemical characterization, sensory evaluation, celiac disease, mixture design.

1. Introducción

El consumo de productos libres de gluten (PLG) ha aumentado considerablemente en los últimos años. Este incremento, se debe principalmente a la creencia de que los PLG son más saludables, además de un aumento en los diagnósticos de diversos padecimientos como lo es la enfermedad celíaca (Roman *et al.*, 2019). Se ha identificado que aproximadamente el 30% de la población mundial tiene la carga genética requerida para desarrollar la enfermedad celíaca (EC). Sin embargo, únicamente entre el 1% al 3% de la población llegan a manifestarla. La EC es una enfermedad crónica, de origen autoinmune, específicamente una enteropatía inmunológica del intestino delgado. Se genera por la exposición en la alimentación al gluten, generalmente en individuos que son genéticamente predispuestos (Rojas Díaz *et al.*, 2021). Los síntomas de la EC se pueden dividir en intestinales o extraintestinales. Los intestinales son principalmente la diarrea y el síndrome de malabsorción, que provocan la pérdida de peso y problemas en el crecimiento. Los síntomas extraintestinales principalmente son el dolor de cabeza, anemia, osteoporosis y dermatitis herpetiforme (Sigala Robles *et al.*, 2018), siendo hasta el momento el único tratamiento disponible el mantener una dieta libre de gluten (DLG) de por vida (Sierra *et al.*, 2020).

Para el caso del desarrollo de panes libres de gluten (PLG) sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales se pueden mejorar mediante el uso de diversos cereales y pseudocereales, así mismo como el uso de hidrocoloides. La quinoa, es un pseudocereal que proporciona una cantidad importante de aminoácidos esenciales, además de fosfolípidos de alta calidad nutricional y ácidos grasos insaturados. Otro pseudocereal de importancia es el amaranto que aporta hierro, aminoácidos, calcio, magnesio, entre otras vitaminas y minerales (García Ramón, 2021). El uso de subproductos de la agroindustria como es el caso arroz quebrado (resultado de la molienda) le confieren al producto propiedades funcionales y un valor agregado. En el caso de los hidrocoloides una de las características más importantes que presentan estas moléculas es la capacidad de interacción con el agua lo que contribuye a mejorar la textura del producto, por lo que en la industria de panificación, los hidrocoloides son empleados como compuestos de remplazo para el gluten, y con fin tecnológico dando la posibilidad de espesar, gelificar, estabilizar o emulsificar el producto. Es por esto que el generar un PLG sigue siendo un reto para la ciencia y la tecnología de alimentos (Villanueva Flores, 2017).

El objetivo del presente trabajo fue elaborar un pan libre de gluten enriquecido con pseudocereales a base de harina de amaranto (HAm) y harina de quinoa (HQ) y subproducto de la molienda de arroz (HA) y su caracterización fisicoquímica y sensorial.

2. Metodología

2.1. Materia primas

Se empleó arroz (*Oryza sativa*) medio grano quebrado marca Food Technologies Trading, amaranto reventado (*Amarahantus sp*) marca don Luis y Quinoa orgánica (*Chenopodium quinoa*) marca Eat natural lima limón, adquirido en Soriana de la ciudad de Chihuahua (México).

2.2 Acondicionamiento de las materias primas

Se empleó un molino de café y especias (Hamilton Beach, 80350R, México) para triturar cada uno de los granos (medios granos de arroz, amaranto y quinoa). La harina obtenida de cada grano se tamizó empleando una malla 60 (250 micrometros). Los productos obtenidos fueron etiquetados y almacenados en refrigeración hasta su caracterización y uso. El aislamiento del

almidón de arroz se realizó siguiendo la metodología propuesta por Ibáñez (2007) y su posterior modificación se realizó con base en la metodología descrita por Bello-Pérez *et al.* (2002).

2.3. Caracterización de la materia prima

2.3.1. Análisis proximal

Este análisis se realizó con base en los métodos reportados por la AOAC (1998), mediante los cuales se determinó la cantidad de humedad (991.86), de proteínas (923.04), de grasas (920.85), de cenizas (936.08), de fibra cruda (920.86) y de carbohidratos (921.15).

2.3.2. Índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Se realizó siguiendo la metodología de Anderson (1982), la cual consiste en un tubo falcón (50 mL) para centrífuga con rosca previamente tarado, se colocaron 2.5 g de muestra y 30 mL de agua destilada, la cual se mantuvo a 30°C. La suspensión resultante se agitó vigorosamente y posteriormente fue colocada en la centrífuga (Thermo IEC modelo CL3-R, EUA) a 3200 g por 10 minutos a 25 °C. La pasta obtenida en el tubo de centrífuga se pesó y posteriormente se calculó el IAA empleando la ecuación 1 (Ec1). El sobrenadante se depositó en una cápsula de aluminio, la cual fue previamente puesta a peso constante y tarada. La muestra fue colocada en una estufa (Shel L/18, Sheldon Manufacturing Inc. EUA) a 105°C por 24 h y pasado este tiempo se dejó enfriar en un desecador. Posteriormente se pesó. El ISA se determinó empleando la ecuación 2 (Ec 2).

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \dots\dots (\text{Ec 1})$$

$$ISA = \frac{\text{Peso del sólido seco (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \dots\dots (\text{Ec 2})$$

2.4. Elaboración y Caracterización del pan libre de gluten

2.4.1. Elaboración del pan libre de gluten

Se realizó con base en la metodología reportada por (Serna Saldívar, 1996), en donde se mezclaron los ingredientes provenientes de cereales, pseudocereales e hidrocoloides en base a un diseño de mezclas, manteniendo constante de manera preliminar el resto de los ingredientes. La masa se sometió a dos etapas de fermentación, para posteriormente llevar a cabo el formateo, horneado y enfriado de la pieza. El producto se almacenó en bolsas de polietileno a 5°C hasta su caracterización.

2.4.2. Altura del pan

Se siguió la metodología propuesta por (Serna Saldívar, 1996), que consiste en la medición directa de la altura de la pieza de pan empleando un Vernier digital (Mitutoyo, Japón).

2.4.3. Volumen específico

El volumen específico del pan se calculó siguiendo el modelo matemático de volumen-masa descrita por (Wu *et al.*, 2010) el cual es el resultado de la división del volumen del pan expresado en cm³ entre la masa del pan expresado en g. Para calcularlo fue necesario introducir la pieza de pan (previamente pesada) en una caja con un volumen conocido.

Posteriormente se introdujo mijo hasta que el volumen total de la caja estuvo ocupado. Finalmente, se retiró la pieza de pan y se determinó la cantidad de mijo que había en la caja y mediante una diferencia se obtuvo el volumen del pan.

2.4.4. Dureza

Se realizó de acuerdo al método 66-50 (AACC, 2002), utilizando un equipo de textura TAXT2i plus (Texture Technology Corp., Scarsdale, NY, EUA). Se empleó una sonda cilíndrica de compresión con un diámetro de 5 cm. Se empleó una muestra con una altura de 2.1 cm, la distancia de viaje del brazo sobre la muestra fue de 1,47 cm y una velocidad de 0,5 cm/s.

2.4.5. Evaluación sensorial

Se elaboró una prueba de preferencia con 30 jueces consumidores a los que se les proporcionaron dos muestras identificadas cada una por un código. Una vez que el panelista degustaba la muestra, indicaba su preferencia a través del registro del código en un formato.

2.5. Diseño experimental y análisis de datos

Se empleó un diseño de mezclas simplex lattice, con el objetivo de ver el efecto de la concentración de los diferentes ingredientes en harinas empleadas en las diversas variables medidas. Fueron analizados tres factores: Harina de arroz (HA), Harina de amaranto (HAM), y Harina de Quinoa (HQ). Se emplearon seis niveles (0; 16,6; 33,3; 50; 66,6 y 100%) que fueron definidos empleando el paquete estadístico Design Expert V. 13 (State Ease, 2014). Cada tratamiento realizado se caracterizó midiendo las siguientes variables: volumen específico (VE), altura (A) y dureza (D). El análisis de la materia prima se realizó a través de la determinación de la desviación estándar de los datos y comparación de medias a través de prueba Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis proximal

La caracterización de cantidad de humedad de las diversas harinas empleados presentaron valores superiores a lo reportado en la bibliografía (Enríquez Pincay, 2021). Fue posible observar que la materia prima con mayor contenido de humedad fue la harina de quinoa, presentando un porcentaje de 11,02 (Tabla 1). Este valor resultó mayor que el reportado por Dussán-Sarria *et al.* (2019), el cual menciona que para elaborar su producto panificable empleó una harina de quinoa con 9,55% de humedad. La harina de arroz presentó una humedad de 10,23%, siendo esta inferior a la reportada por Calvopiña *et al.* (2018), en donde se reportan una humedad de 12,60%. El porcentaje de humedad en las materias primas representa un factor de calidad importante debido a la influencia directa tanto en la conservación como en el deterioro del producto (Enríquez Pincay, 2021).

Tabla 1.*Análisis proximal de harinas*

	HA	HAM	HQ
Humedad (g)	10,23±0,057a	2,480±0,501b	11,02±0,098a
Proteínas (g)	7,00±0,010a	16,00±0,021b	5,20±0,015c
Grasas totales (g)	1,00±0,020a	6,80±0,012b	0,60±0,279a
Hidratos de carbono (g)	76,00±0,040a	70,00±0,014a	21,00±0,060b
Fibra dietética (g)	0,00±0,000a	4,80±0,010b	5,80±0,030b

Media ± desviación estándar, prueba de Tukey, valores que no comparten letra para la misma fila resultan significativamente diferentes $p < 0.05$. Harina de arroz (HA), Harina de amaranto (HAM), Harina de quinoa (HQ), nativo (AN) y almidón modificado (AM).

Fuente: Elaboración propia.

Se pudo observar que la harina de amaranto es la que tiene un mayor contenido de proteínas por cada 100 g de producto (16g), pero también es el que tiene mayor proporción de grasas totales (6.8g). Este valor reportado es mayor al obtenido por Castellanos Gallo (2019), la cual reporta una cifra de 13.42 g de proteínas en la harina de amaranto utilizada. Es de relevancia el mencionar que el contenido de carbohidratos disponible es similar para ambos. Estos valores pueden variar debido a las diferencias en la variedad del grano utilizado o a las variables del proceso de reventado de grano previo al análisis proximal realizado.

La harina de arroz presentó un valor de 7 g de proteína por cada 100 g de producto. Este valor presenta similitud al reportado por Wu *et al.* (2010) con 6.85% y Castellanos Gallo (2019) de 6.48 g por 100 g de producto. Se encontraron diferencias significativas con respecto a la información nutrimental de la quinoa y los diversos análisis proximales realizados por otros investigadores. La quinoa empleada cuenta con 5.2 g de proteína a diferencia de lo obtenido por Cervilla *et al.* (2013), quienes reportan cifras de proteína entre los 13.40-17.32 g de proteína. Así mismo los valores de grasas totales de la quinoa orgánica utilizada fueron de 0.6 g a diferencia de 9.64 g de grasas presente en el lote 2007 de la harina integral de quinoa que analizó Cervilla *et al.* (2013).

3.2. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

En el análisis del índice de absorción de agua fue posible determinar que existen diferencias estadísticamente significativas entre la harina de amaranto con respecto de la harina de arroz y harina de quinoa esto con un nivel de confianza ($p \leq 0.05$), presentando un valor menor en la harina de amaranto con un 0.544% (Tabla 2).

Tabla 2.*IAA e ISA en harinas*

Análisis	HA	HAM	HQ
IAA	1,451±0,057 a	0,544±0,501 b	1,796±0,098 a
ISA	2,369±0,056 c	1,485±0,089 a	6,262±0,0723 b

*Media ± desviación estándar, prueba de Tukey, valores que no comparten letra para la misma fila resultan significativamente diferentes $p < 0.05$. Harina de arroz (HA), Harina de amaranto (HAM), Harina de quinoa (HQ)

Fuente: Elaboración propia.

Dussán-Sarria *et al.* (2019), reportó un IAA para las harinas de quinoa del 2,35% y Enríquez Pincay (2021), estableció un valor de IAA a 2,31% para las harinas de quinoa variedad Tuncahuán. Estos valores son superiores a los obtenidos experimentalmente de la harina de

quinoa de marca Eat natural lima limón. Jiménez Vázquez (2016), menciona lo importante que es la determinación del IAA debido a que a partir de este parámetro es posible establecer la capacidad de absorción de agua y el poder de hinchamiento de las diversas harinas analizadas. Es decir, el IAA permite determinar la facilidad para formar geles cuando hay presencia de calor y un exceso de agua las cuales están directamente relacionadas en el proceso de mezclado, amasado y cocción del pan influyendo en las propiedades funcionales del producto libre de gluten.

Para la respuesta ISA es posible observar que hay diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para este parámetro entre la HAM, HQ y HA. Los índices de solubilidad obtenidos son superiores a los porcentajes reportados por Castellanos Gallo (2019) en botanas a partir de harina de arroz y harina de amaranto, en donde obtuvo un 0,30% para la harina de amaranto en comparación al 1.485% obtenido en este trabajo. El índice de solubilidad en agua permite determinar la cantidad de carbohidratos solubles presentes en una solución, lo que es un indicativo que el acondicionamiento realizado para la obtención de las harinas no fue severo, manteniendo sus propiedades funcionales.

3.3. Pan libre de gluten (PLG)

En la Tabla 3 se presenta los resultados obtenidos de los diversos tratamientos elaborados. A partir de la información de la Tabla 4 "Coeficientes de regresión y análisis de varianza de las ecuaciones obtenidas (modelos de predicción) para las variables analizadas", fue posible obtener los gráficos de superficie de respuesta y las ecuaciones que describen el comportamiento de los diversos parámetros evaluados.

Tabla 3.

Diseño experimental y análisis evaluados en pan libre de gluten

Tratamiento	HA %	HAM %	HQ %	Altura (cm)	Volumen (cm ³ /g)	Dureza (N)
1	100	0	0	10,800±0,200	1,997±,020	139,52±12,800
2	0	100	0	10,200±0,350	3,438±0,010	12,357±13,500
3	0	0	100	11,000±0,580	2,422±0,090	50,651±16,200
4	50	50	0	9,100±0,980	2,485±0,120	45,911±11,500
5	50	0	50	9,800±0,120	2,456±0,010	50,922±10,600
6	0	50	50	7,400±0,320	3,07±0,080	51,95±16,500
7	66,667	16,667	16,667	10,000±0,450	2,069±0,140	29,56±11,250
8	16,667	16,667	66,667	9,500±0,480	2,267±0,210	045,657±14,900
9	16,667	66,667	16,667	9,100±0,980	2,255±0,090	32,76±17,250
10	33,333	33,333	33,333	9,500±0,750	2,218±0,080	57,873±16,150

*Media ± desviación estándar, $p < 0,05$. Harina de arroz (HA), Harina de amaranto (HAM), Harina de quinoa (HQ), nativo (AN) y almidón modificado (AM).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.

Coefficientes de regresión y análisis de varianza de las ecuaciones obtenidas (modelos de predicción) para las variables analizadas

Coefficiente	YAL	YVE	YD
X1	10,80*	2,08**	128,38**
X2	10,23*	3,31**	23,95**
X3	11,00*	2,39**	61,82**
X1X2	-5,55*	-2,07***	-132,24***
X1X3	-4,41*	NS	-189,62***
X2X3	-12,75*	NS	NS
X1X2X3	38,20*	NS	NS
R ²	0,9982	0,7358	0,7834
p≤	0,0003	0,0646	0,0361

X1: Harina de arroz; X2 Harina de amaranto; X3: Harina de quinoa. * Significativo (p<0,01), ** Significativo (p<0,05), *** Significativo (p<0,1), NS: No significativo. YAI: Altura del pan, Yve: Volumen específico (cm³/g), YD: Dureza (N).

Fuente: Elaboración propia.

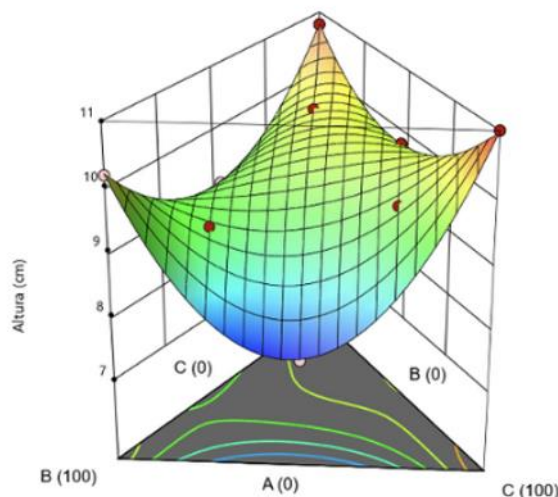
3.3.1. Altura (AL)

En el análisis de regresión se observó que la AL fue influenciada por los componentes lineales X1, X2, X3 (A, B y C, respectivamente) e interacciones X1X2, X1X3, X2X3 (AB, AC y BC, respectivamente) a una p<0.01 (Tabla 4). El modelo de predicción para la AL utilizó las variables codificadas (Ec3):

$$YAL = 10,8 X1 + 10,23 X2 + 11,00 X3 - 5,55 X1X2 - 4,41 X1X3 - 12,75 X2X3 + 38,2 X1X2X3. \text{ (Ec 3)}$$

Figura 1.

Gráfico de superficie de respuesta para la variable de altura evaluada. A: Harina de arroz; B: Harina de amaranto; C: Harina de quinoa



Fuente: Elaboración propia.

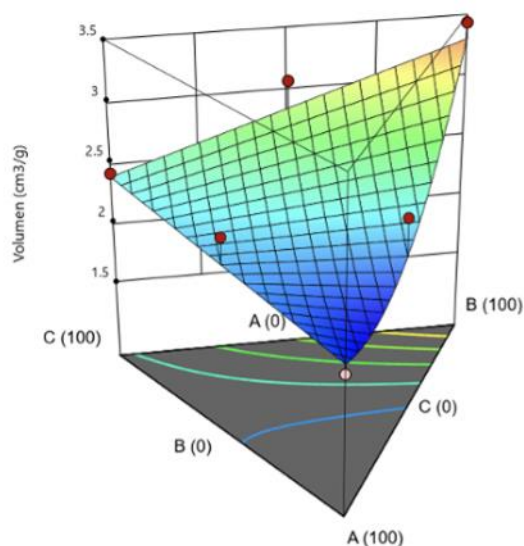
Se obtuvo un modelo de tercer grado con una representatividad del 99,82% (R²=0,9982) a una p de 0,0003. Este modelo es estadísticamente significativo (p<0,01). En la Figura 1, se observa la gráfica de superficie de respuesta para la variable altura (AL) que fue evaluada en cada pan

de los diez tratamientos realizados. El valor máximo de altura (11 cm) corresponde al tratamiento 3 (100% harina de quinoa) y el segundo más alto (10,8 cm) fue el tratamiento 1 (100% harina de arroz). A partir del gráfico de superficie fue posible apreciar una disminución en la altura cuando disminuye en la formulación la concentración de harina de arroz. Martínez-Jiménez *et al.* (2015), reportan la elaboración de un pan libre de gluten a partir de harina de arroz, diversos almidones modificados y carboximetilcelulosa. Ellos obtuvieron alturas de pan de entre 58 a 77 mm. Esto debido a que la altura del producto panificable fue determinada realizando un promedio de las alturas de los extremos y de la mitad de la muestra. Cajas (2018), elaboró un pan libre de gluten a base de harina de arroz, empleando un molde similar al que se usó en este trabajo y lograron obtener un pan con 11 cm de altura, siendo esta la altura máxima que se tuvo en el tratamiento 3.

3.3.2. Volumen específico (VE)

En el análisis de regresión se observó que el VE fue influenciada por los componentes lineales X1, X2, X3 (A, B y C, respectivamente) a una $p < 0,05$ e interacciones X1X2, (AB) a una $p < 0,1$. El modelo de predicción para la VE utilizó las variables codificadas (Ec 4):

$$YVE = 2,08 X1 + 3,31 X2 + 2,39 X3 - 2,07 X1X2 \dots \text{(Ec 4)}$$



Se obtuvo un modelo de segundo grado con una representatividad del 73,58% ($R^2=0,7358$) a una p de 0,0646. Este modelo es estadísticamente significativo a una $p < 0,1$. En la Figura 2, es posible apreciar el gráfico de superficie de respuesta para la variable de volumen específico (VE) el cual fue evaluado en cada tratamiento realizado. El valor máximo de volumen específico ($3,43 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) fue el correspondiente al tratamiento 2 (100% harina de amaranto), seguido del tratamiento 6 (50% harina de amaranto y 50% harina de quinoa) con un volumen específico de $3,04 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$. Se le atribuye a que los panes con mayor contenido de harina de amaranto tienen un mayor volumen específico debido a la capacidad de este pseudocereal a retener agua en el proceso de amasado. Posteriormente, en el desarrollo de la cocción el agua presente en la masa se evapora produciendo un elevado volumen específico. Zegarra *et al.* (2019) elaboraron un pan libre de gluten a partir de harina de cañihua, almidón de yuca, suero de leche y goma xantán. Obtuvieron cuatro formulaciones diferentes las cuales tuvieron volúmenes específicos entre $3,20\text{-}3,68 \text{ m L g}^{-1}$. Esto nos permite apreciar que en general, los PLG presentes en el mercado tienen VE muy similares a los obtenidos en esta investigación.

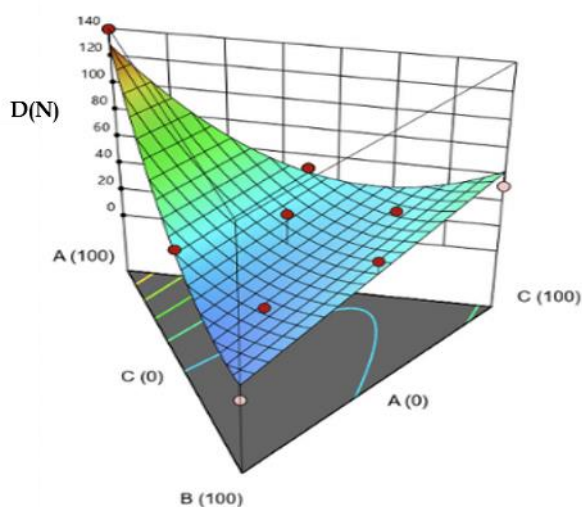
3.3.3. Dureza (D)

En la Figura 5, es posible apreciar la gráfica de superficie de respuesta para la variable de dureza que fue evaluada en cada pan de los diez tratamientos realizados. En el análisis de regresión se observó que el D fue influenciada por los componentes lineales X1, X2, X3 (A, B y C, respectivamente) a una $p < 0,05$ e interacciones X1X2, X1X3 (AB, AC, respectivamente) a una $p < 0,1$. El modelo de predicción para la D utilizó las variables codificadas (Ec 5):

$$YD = 128,38 X1 + 23,95 X2 + 61,82 X3 - 132,24 X1X2 - 189,62 X1X3 \dots (\text{Ec } 5)$$

Figura 3

Gráfico de superficie de respuesta para la variable de dureza evaluada. A: Harina de arroz; B: Harina de amaranto; C: Harina de quinoa



Fuente: Elaboración propia.

Para la variable de respuesta dureza se obtuvo un modelo cúbico con un valor de p de 0,0646, lo que implícitamente es posible decir que este modelo es significativo a una $p \leq 0,1$. Se obtuvo un modelo de tercer grado con una representatividad del 78,34% ($R^2=0,7834$). Este modelo fue estadísticamente significativo a una $p \leq 0,0361$. El valor máximo de dureza (139,52 N) corresponde al tratamiento 1 (100% harina de arroz). Se tuvo una disminución de la dureza del 79% (con respecto al pan elaborado con 100% harina de arroz) cuando en la formulación se tiene un 66% de harina de arroz y un 16% harina de amaranto más un 16% harina de quinoa. Los valores obtenidos de dureza en esta investigación son similares a los obtenidos por los investigadores Martínez-Jiménez *et al.* (2015), formularon un pan libre de gluten a base de harina de arroz blanco, almidón modificado de yuca, almidón de maíz y aislado de proteína de soya, además de carboximetilcelulosa sódica grado alimenticio. A partir de los diferentes tratamientos realizados reportan que tuvieron valores de dureza que rondan entre los 31,96 N y 91,22 N. Esto permite confirmar que conforme aumente la concentración de harina de arroz en el producto panificable es posible que se tengan valores altos de dureza.

3.4. Optimización del pan libre de gluten

La región optimizada se logró a la superposición de los gráficos de contorno de cada variable respuesta. La formulación optimizada resultante fue compuesta por 71% harina de arroz, 12%

harina de amaranto y 13% harina de quinoa. Bajo estas concentraciones se elaboró un pan (PaLG) para ser comparado con un producto comercial libre de gluten (Food for life® brown rice-PaC) que contiene en su formulación principalmente arroz integral, lo que es similar a la materia prima empleada.

3.4.1. Declaración nutrimental

El pan libre de gluten realizado resultó con un contenido energético de 210 kcal, por lo que es el producto con menor contenido energético en comparación con el pan comercial (Tabla 5) y un contenido proteico del PaLG (9 g) es superior al PaC (5 g). El pan Food for life, es el que reporta mayor contenido de grasas (6 g) y fibra dietética (5g) este último debido a su fuente integral.

Tabla 5.

Declaración nutrimental del pan optimizado, y pan comercial libres de gluten

Declaración nutrimental	PaLG	PaC Food for life
	Por 100 g	
Contenido energético (kcal)*	210	222
Proteínas (g)	9± 0,009	5± 0,036
Grasas totales (g)	0± 0,000	6± 0,052
Grasas saturadas (g)	0± 0,000	0± 0,000
Grasas trans (g)	0± 0,000	0± 0,000
Hidratos de carbono disponibles (g)	44± 0,015	37±0,102
Azúcares (g)	8± 0,023	5± 0,046
Azúcares añadidos (g)	8± 0,027	2± 0,009
Fibra dietética (g)	1± 0,005	5± 0,098
Sodio (mg)	250± 0,054	209±0,078

PaLG: Pan libre de gluten elaborado en este trabajo

PaC: Pan comercial libre de gluten- Food for life

*Valor obtenido mediante el cálculo del equivalente (proteína 4kcal/g, lípidos 9 kcal, carbohidratos 4kcal).

Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis nutrimental del presente proyecto es posible observar que el pan elaborado a base de harina de arroz, harina de amaranto y harina de quinoa tiene características nutrimentales similares a los productos que ya se encuentran actualmente en el mercado, lo que le coloca con un gran potencial para su producción y en base a los ingredientes utilizados pueda ser una alternativa más para el consumidor que busca un pan libre de gluten a un precio más accesible.

3.4.2. Evaluación sensorial

Con la finalidad de conocer la preferencia del producto se elaboró una prueba de preferencia con 30 jueces consumidores. Se comparó la preferencia del producto elaborado en este trabajo, el cual fue marcado con el código 9512, sobre el pan libre de gluten Food for life, al cual se le asignó el código 7210. Es importante mencionar que se seleccionó este producto comercial debido a que sus ingredientes son similares al pan optimizado.

De los treinta jueces consumidores, 21 personas eligieron el pan libre de gluten elaborado en este trabajo y 9 jueces eligieron el pan de arroz integral Food for life. Por lo tanto, hay una

preferencia significativa (95%) por el pan optimizado sobre el pan comercial. Algunos de los comentarios que los jueces hicieron durante la prueba fueron en torno a la preferencia en textura y consistencia suave, sabor y apariencia.

4. Conclusiones

Del presente trabajo se concluye que la harina de arroz, amaranto y quinoa pueden ser empleadas para la formulación y elaboración de panes libres de gluten con óptimas propiedades fisicoquímicas y sensoriales. El uso de almidones modificados e hidrocoloides mejoraron las propiedades texturales de los panes obtenidos. A través del proceso de optimización mediante la superposición de gráficos de contorno, fue posible el ajuste de cada una de las variables respuesta en base al producto comercial libre de gluten. Por lo que el tratamiento optimizado presenta una alternativa potencial para el consumidor que padece la enfermedad celiaca o trastornos de asimilación del gluten o trigo, así como aquellos que busca incluir en su alimentación la búsqueda de alimentos más saludables. En futuros trabajos se dará continuidad complementando la incorporación de ingredientes funcionales así como la caracterización del contenido de aminoácidos y almidón resistente.

5. Referencias

- American Association of Cereal Chemists, AACC. (2002). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists*. AACC.
- Anderson, R. A. (1982). Water Absorption and Solubility and Amylograph Characteristics of Roll-Cooked Small Grain Products. *Cereal Chemistry*, 59(4), 265-269.
- Association of Official Analytical Chemist, AOAC. (1998). *Official Methods of Analysis*. AOAC.
- Bello-Pérez, L. A., Contreras-Ramos, S. M., Romero-Manilla, R., Solorza-Feria, J. y Jiménez-Aparicio, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano Musa paradisiaca L. *Agrociencia*, 36(4), 169-180.
- Calvopiña, A. y Di Iorio, A. (2018). *Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en un pan libre de gluten* [Tesis de Licenciatura]. Escuela Agrícola Panamericana.
- Castellanos-Gallo, L. (2019). *Evaluación de una botana directamente expandida mediante el proceso de extrusión utilizando subproducto de arroz y enriquecida con amaranto* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Cervilla, N. S., Mufari, J. R., Calandri, E. y Guzmán, C. A. (14-15 de junio de 2013). *Propiedades fisicoquímicas de semillas y análisis proximal de harinas de Chenopodium quinoa Willd cosechadas en distintos años y provenientes de la región de Salta*. II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes, Chaco, Argentina.
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L. y Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinoa y Chontaduro. *Información Tecnológica*, 30(5), 3-10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>

- Enríquez Pincaj, D. (2021). *Formulación de apanadura a base de harina de quinua (Chenopodium quinoa) con harina de arroz (Oryza sativa), aplicada en camarón, para el consumo de población celiaca* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Politécnica Estatal de Carchi.
- García Ramón, D. F. (2021). *Determinación de la vida útil del pan de molde libre de gluten con quinua (Chenopodium quinoa)* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- García, Jiménez A. y Vázquez, Ch. L. (2016). Masa y harina de maíz nixtamalizado. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 78-82.
- Martínez-Jiménez, F., Rodríguez-Sandoval, E. y Soledad Hernández-Gómez, M. (2015). Impacto de la adición de carboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 445-454. <http://doi.org/10.31910rudca.v18.n2.2015.264>
- Rojas Díaz, S., Amador, Kimberly, A. y Montenegro, C.V. (2021). Enfermedad celiaca: revisión. *Revista Ciencia y Salud*, 5(1), 95-101. <https://doi.org/10.34192/cienciaysalud.v5i1.233>
- Roman, L., Belorio, M. y Gomez, M. (2019). Gluten-Free Breads: The Gap Between Research and Commercial Reality. En M. E. Camire (Ed.), *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (pp. 690-702). Blackwell Publishing Inc.
- Serna Saldivar, S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. AGT Editor, S. A.
- Sigala Robles, R., Aguayo Patrón, S. V. y Calderón de la Barca, A. M. (2018). Genética, ambiente y asma asociados a enfermedad celiaca en la familia extendida de un niño afectado. *Revista de Gastroenterología de Mexico*, 83(2), 77-78. <https://doi.org/10.1016/j.rgmex.2018.03.001>
- Stat-Ease (2014). *Design Expert* V.7.0. [Software]. <http://stateasae.com/software/design-expert/>
- Villanueva, F. R. (2017). Productos libres de gluten: un reto para la industria de los alimentos. *Revista de Ingeniería Industrial*, 35(1), 183-194. <http://dx.doi.org/10.26439/ing.ind2017.n035.1800>
- Wu, W. S., Tsai, Y. H., Wei, C. I., Sun Pan, B. y Huang, T. C. (2010). Effects of organic acids on the pasting properties of rice flour from waxy and nonwaxy varieties. *Journal of Food Quality*, 33(1), 137-154. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00320.x>
- Zegarra, S., Muñoz, A. M. y Ramos-Escudero, F. (2019). Elaboration of a gluten-free bread based on cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) flour and sensory acceptability evaluation. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(5), 561-570. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Conceptualización: Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa **Software:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa **Validación:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa **Análisis formal:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa; **Curación de datos:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa; **Redacción-Preparación del borrador original:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa **Redacción-Re- visión y Edición:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa **Visualización:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa **Supervisión:** Galicia García Tomás; **Administración de proyectos:** Galicia García Tomás; **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Galicia García Tomás; Trejo Alarcón Vanessa; Ramírez-Wong Benjamín; Estrada Moreno Iván; Leal Ramos Yarely; Portillo Arroyo Beatriz; Soto Figueroa Cesar.

Financiación: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos: Al Consejo nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por la beca de manutención de Maestría a la M.C. Vanesa Trejo Alarcón.

Conflicto de intereses: Los autores no tienen conflicto de interés.

AUTOR/ES:

Tomás Galicia García

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, actualmente se desempeña como Académico Titular C, cuenta con Perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando temas referentes a la elaboración de materiales de pared para la obtención de microcápsulas, desarrollo de coberturas y películas comestibles, desarrollo de botanas saludables de 2da generación (directamente expandidas) y 3ra generación (laminadas-expandidas), desarrollo de productos libres de gluten (botanas, pasta, pan, galletas), aislamiento y modificación de almidón.

tgalicia@uach.mx

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-4763-7880>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36450645900>

Vanessa Trejo Alarcón

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, actualmente estudia el doctorado en la misma institución. El presente trabajo es parte de su tesis de grado titulada: "Elaboración de un pan libre de gluten enriquecido con pseudocereales".

p301835@uach.mx

Benjamín Ramírez Wong

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos Universidad de Sonora, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Texas A&M, actualmente es profesor investigador jubilado del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores nivel Emérito. Participó en diferentes proyectos de investigación, destacando: el procesamiento de productos de origen vegetal en temas de panificación, nixtamalización, botanas y pastas.

benjamin.ramirez@unison.mx

Iván Estrada Moreno

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV-Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Ciencia de los Materiales en CIMAV-Chihuahua, actualmente es profesor investigador de esta institución. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación, destacando: la caracterización de materiales y desarrollo de biosensores.

ivan.estrada@cimav.edu.mx

Yalery Leal Ramos

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Filosofía con especialidad en Alimentos en la Universidad Autónoma de Chihuahua, actualmente se desempeña como Académico Titular C, cuenta con Perfil deseable de la Secretaria de Educación Pública y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando los temas de Tecnologías convencionales y alternativas para el procesamiento de alimentos y Química y Bioquímica de alimentos de origen animal.

yaleal@uach.mx

Beatriz Portillo Arroyo

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de maestría en Nutrición en la Universidad de Durango, actualmente se desempeña como Académico y cuenta con Perfil deseable de la Secretaria de Educación Pública. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando los temas de Química clínica y nutrición humana.

bportillo@uach.mx

Cesar Soto Figueroa

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Ciencia de los Materiales en la Universidad Nacional Autónoma de México, actualmente se desempeña como Académico Titular C, cuenta con Perfil deseable de la Secretaria de Educación Pública y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando los temas de química y modelación molecular.

csotof@uach.mx