

Calidad panadera y galletera de mezclas de harina integral de amaranto y refinada de trigo

Eduardo Espitia-Rangel¹
Eliel Martínez-Cruz^{1§}
Azalia Lozano-Grande²
René Hortelano-Santa Rosa¹
Miriam Valverde-Ramos¹
Fernanda Sesma-Hernández¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (espitia.eduardo@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; miriamgabriela1993@gmail.com; luisaf68sh@gmail.com). ²Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez Puebla. (mariaazalia.lozano@utxicotepec.edu.mx).

§Autor para correspondencia: martinez.eliel@inifap.gob.mx.

Resumen

El desbalance entre la ingesta excesiva y gasto de energía debido al consumo de carbohidratos refinados y grasas puede asociarse a sobrepeso y obesidad, provocando un problema de salud pública como actualmente sucede en México. La harina refinada de trigo harinero en forma de pan dulce y galletas forman parte de esta ingesta. Una alternativa a esta problemática es la sustitución en la elaboración de estos productos por harina de granos integrales como el amaranto, para lo cual se debe caracterizar la masa, como su calidad panadera y galletera. Por lo que, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las características reológicas de la masa, volumen de pan y factor galletero de mezclas de harina integral de amaranto y refinada de trigo. Las harinas integrales de amaranto se obtuvieron de las líneas denominadas opaca y cristalina y la harina refinada de trigo de las variedades Fuertemayo F2016 y Urbina S2007. Las mezclas con el 5, 10 y 15% de harina integral de amaranto opaco y cristalino disminuyeron la fuerza e incrementaron la tenacidad de la masa consecuentemente disminuyeron el volumen de pan y presentaron migas de color café y textura pobre. Por otro lado, las mezclas con 25% de harina integral de amaranto opaco y cristalino, así como la de 75% de harina integral de amaranto cristalino superaron el factor galletero de la variedad testigo 100% de harina refinada de trigo, mientras que el resto de las combinaciones se clasificaron como muy buenas por su factor galletero superior a 4.5. Con base en lo anterior la sustitución de harina de amaranto integral no disminuye el factor galletero por lo que se recomienda su uso en mezclas con harina refinada de trigo sin demeritar el rendimiento galletero caso contrario en la elaboración de pan donde disminuyó su volumen y por lo tanto el rendimiento panadero.

Palabras clave: calidad galletera y panadera, harina integral de amaranto, harina refinada de trigo.

Recibido: julio de 2022

Aceptado: noviembre de 2022

Introducción

Con base en la importancia de su consumo en México el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) ocupa el segundo lugar después del maíz por lo que se considera un grano básico. Su principal forma de consumo es en forma de pan. El consumo per cápita de pan es de 33.5 kg, de los cuales entre 70% y 75% corresponde a pan blanco y el restante 30% y 25%, respectivamente, a pan dulce, galletas y pasteles siendo la principal materia prima en la elaboración de estos productos la harina refinada de trigo (CANIMOLT, 2016).

Con base en la encuesta nacional de salud y nutrición realizada en 2018, en nuestro país, los niños en edad escolar, de ambos sexos de 5 a 11 años, presentaron 35.5% de sobrepeso u obesidad; mientras que el porcentaje de adultos de 20 años y más con sobrepeso y obesidad es de 75.2 (39.1% sobrepeso y 36.1% obesidad), porcentaje que en 2012 fue de 71.3% (Shamah-Levy *et al.*, 2020), por lo que México se ubica dentro de los tres primeros lugares con población con sobrepeso u obesidad y se cataloga este problema como de salud pública (García-García *et al.*, 2008).

De acuerdo con Denova *et al.* (2010) una de las causas más frecuente de sobrepeso y obesidad es la pérdida de balance entre la ingestión de energía y el gasto debido al consumo de alimentos ricos en energía (carbohidratos y grasas), un dato adicional es que más de 75% de la población mexicana desconoce cuál debe ser su consumo promedio diario de calorías.

Dentro de estos componentes que aportan energía en exceso se encuentran las bebidas azucaradas y gaseosas dado que el consumo per cápita de un mexicano fue de 183 L (Olvera, 2022) y adicionalmente consume productos como tortillas y pan elaboradas de harinas refinadas de los cereales como lo es el maíz y trigo. Para ayudar a contrarrestar los efectos de esta problemática de salud pública una opción es disminuir su consumo de dichas bebidas y harinas e incrementar la utilización de granos integrales en la elaboración de productos de consumo habitual, como lo es pan y galletas.

Por otro lado, existen numerosos estudios en donde se refiere que los granos de amaranto (*Amaranthus* spp.), puede ser inflado, tostado y molido para utilizarlo en productos de panadería y galletería (Bhat *et al.*, 2015), favoreciendo fuentes alternas de proteína con alto valor nutricional por su concentración de albuminas y globulinas, y su mejor balance de aminoácidos esenciales como lisina, metionina y treonina (Joshi *et al.*, 2018). Además, que puede aportar mayor cantidad de calcio, magnesio, fósforo, hierro, potasio, vitaminas, antioxidantes y fibra, respecto a la harina refinada de trigo.

Por otro lado, debido a la presencia de compuesto antioxidantes, anticancerígenos, hipocolesterolémicos, antidiabéticos, anti-helmínticos y anti-diarreicos el grano de amaranto es reconocido por su efecto nutracéutico, es decir, que tiene un efecto favorable sobre la nutrición y salud del consumidor (Czerwin'ski *et al.*, 2004; Huerta *et al.*, 2012; Joshi *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de lo antes expuesto, en México no existe un interés por el cultivo lo cual se refleja en su bajo consumo per cápita el cual fue de 43 g para el año 2019 (SIAP, 2020). El amaranto reventado en forma de 'alegría' es el modo de consumo más frecuente en México. Una opción para incrementar su consumo es mediante la diversificación en la elaboración de productos (Ayala-Garay *et al.*, 2020).

Por lo que la incorporación del grano de amaranto en la elaboración de productos de panadería y galletería pueden favorecer su consumo y su sustitución por harinas refinadas en la elaboración de dichos productos pueden ser una opción saludable para el consumidor. Sin embargo, es necesario conocer el efecto de la incorporación de las harinas integrales en las mezclas y evaluar la calidad de las masas, así como su efecto sobre la calidad panadera y galletera. Por lo que, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las características reológicas de la masa, volumen de pan y factor galletero de mezclas de harina integral de amaranto y refinada de trigo.

Materiales y métodos

Material genético

Los genotipos de amaranto utilizados fueron líneas experimentales denominadas opaca y cristalina (*Amaranthus hypochondriacus*), los cuales fueron proporcionados por el programa de mejoramiento de amaranto del CEVAMEX-INIFAP. Se utilizaron las variedades de trigo harinero Fuertemayo F2016 y Urbina S2007, para la elaboración de pan y galletas, respectivamente, ambas variedades fueron proporcionadas por el programa de mejoramiento de trigo del CEVAMEX-INIFAP y liberadas para condiciones de riego. Fuertemayo F2016 se caracteriza por presentar valores promedio de índice de perlado de 48%, por lo que se clasificó como de grano semi-duro, por su fuerza de la masa de 350×10^{-4} J se catalogó como fuerte, mientras que por su relación tenacidad-extensibilidad, PL= 1.1, se clasificó como balanceada.

Por lo que la variedad Fuertemayo F2016 es apropiada para la industria de la panificación mecanizada y se puede utilizar para mejorar mezclas con harinas de masa débil. Por otro lado, la variedad Urbina S2017 se clasificó como de grano suave por su índice de perlado cercano a 60% y por su W menor a 200×10^{-4} J y su PL menor a 1 se considera como masa débil-extensible, por lo que es apta en la elaboración de galletas además puede ser utilizado como mejorador de trigos de gluten fuerte y tenaz.

Obtención de las harinas y mezclas

Las harinas se obtuvieron en el laboratorio de calidad de trigo del CEVAMEX-INIFAP. Para la obtención de la harina integral de amaranto opaca (HIAO) y cristalina (HIAC) se molió el grano crudo en un molino tipo UDY utilizando una malla de 0.5 mm para obtener una harina con tamaño de partícula homogénea. Para la obtención de la harina refinada de trigo (HRT) la molienda se realizó en un molino Bhuler (Brabender OHG, Alemania) según el método 26-31 de la AACC (2005). El grano se acondicionó agregando agua al grano de acuerdo con su dureza y humedad inicial de grano, se deja reposar durante 24 h y se sometió a molienda. La harina producto de la molienda se cernió en una malla 10xx para obtenerse la harina refinada.

Las mezclas para analizar la calidad panadera fueron: 100% HRT, 5% HIAC/95% HRT, 10% HIAC/90% HRT, 15% HIAC/85% HRT, 5% HIAO/95% HRT, 10% HIAO/90% HRT y 15% HIAO/85% HRT. Por otro lado, las mezclas para evaluar la calidad galletera fueron: 100% HRT, 25% HIAC/75% HRT, 50% HIAC/50% HRT, 75% HIAC/25% HRT, 100% HIAC, 25% HIAO/75% HRT, 50% HIAO/50% HRT, 75% HIAO/25% HRT, 100% HIAO.

Para el caso las mezclas utilizadas para la elaboración de pan fue posible determinar variables alveográficas debido a sus bajos porcentaje de harina integral de amaranto. Dichas variables alveográficas fueron la fuerza (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y la relación de tenacidad-extensibilidad (PL) de la masa, las cuales se calcularon del alveograma el cual se obtuvo de 60 g de la mezcla de harinas utilizando el Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Francia) usando el método 54-30A de la AACC (2005).

Para el caso de las mezclas para la elaboración de galletas, por los altos porcentajes de harina integral de amaranto incorporados no fue posible determinar las variables alveográficas de las masas y se optó por determinar variables mixográficas. Las variables mixográficas medidas fueron tiempo de amasado (min), estabilidad al amasado (min) y altura del mixograma (mm), las cuales se estimaron mediante el mixógrafo (Nacional Manufacturing Co., Lincoln, NE) usando el método 54-40A de la AACC (2005) en muestras de 10 g de la mezcla.

La calidad panadera se midió como volumen de pan (ml) mediante el método de masa directa (método 10-09, AACC, 2005) a partir de 100 g de la mezcla y se determinó en un volutómetro por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica campestris* L.). Adicionalmente se determinó el peso de pan (g), color de la miga y estructura de la miga. La calidad galletera estimada como factor galletero se realizó mediante el método 10-54 (AACC, 2005). La masa se laminó a 0.9 cm. de grosor y moldeó con un diámetro de 5.5 cm posteriormente se horneó durante 25 min a 220 °C.

El factor galletero se determinó utilizando cinco galletas homogéneas en cuanto a tamaño y forma, se midió el diámetro de cada una y su altura con un vernier. El factor galletero se calculó mediante la fórmula W/L donde: W = suma de los promedios de cinco diámetros y L = altura de las cinco galletas una sobre la otra y se clasificaron las mezclas con base en: factor galletero excelente= 5-6, muy bueno= 4.5-4.9, bueno= 4-4.4, regular= 3.5-3.9 y no apto <3.4. Se realizó un análisis por triplicado para cada mezcla. Con las variables medidas se efectuó un análisis de varianza con SAS y se utilizó la prueba de Tukey ≤ 0.05 para indicar las diferencias entre las mezclas.

Resultados y discusión

Variables alveográficas y calidad panadera

En el Cuadro 1 se presentan los promedios de las variables fuerza, tenacidad, extensibilidad y relación tenacidad-extensibilidad de la masa. La fuerza de la masa varió de 193.3 a 434.3 x 10⁻⁴ J. El valor más alto lo presentó la muestra 100% de harina refinada de trigo correspondiente a la variedad Fuertemayo F2016, que se clasificó como masa fuerte por su valor mayor a 300 x 10⁻⁴ J; mientras que la mezcla con 15% de harina integral de amaranto cristalino se asoció al valor más bajo de tal manera que por su valor menor a 200 x 10⁻⁴ J se catalogó como masa débil. El resto de las mezclas se clasificaron como de masa media fuerte por sus valores entre 200 y 300 x 10⁻⁴ J.

Con base en lo anterior se observa que a medida que se incrementó el porcentaje de harina integral de amaranto cristalino u opaco la fuerza de la masa disminuyó; sin embargo, se observó que la disminución de la fuerza fue mayor cuando se agregó harina integral de amaranto cristalino. Lo anterior concuerda con Vásquez-Lara *et al.* (2016) quienes encontraron que al sustituir la harina de quinua en 2.5 a 10% en mezclas con harina de trigo se disminuyó la fuerza de la masa.

Cuadro 1. Comparación de medias de las variables visco-elásticas de la masa de mezclas de harina refinada de trigo (HRT) y harina integral de amaranto.

| Mezcla | W (10^{-4} J) | PL (0.1-7) | P (mm) | L (mm) |
|------------------|------------------|------------|----------|---------|
| 100% HRT | 434.3 a | 1.5 d | 152 b | 79 a |
| 5% HIAO/95% HRT | 277 b | 1.4 d | 103.6 d | 72.6 a |
| 5% HIAC/95% HRT | 260 cb | 2 d | 107.3 dc | 53.3 b |
| 10% HIAO/90% HRT | 233 cbd | 3 cb | 128 c | 43 cb |
| 10% HIAC/90% HRT | 232.3 cbd | 4.1 b | 150.6 b | 36 cd |
| 15% HIAO/85% HRT | 221.6 cd | 6.2 a | 176.6 a | 26 d |
| 15% HIAC/85% HRT | 193.3 d | 3.5 b | 127.3 c | 36.3 cd |

HIAO y HIAC= harina integral de amaranto opaco y cristalino, respectivamente. W= fuerza de la masa; PL= relación tenacidad-extensibilidad; P= tenacidad de la masa; L= extensibilidad de la masa. Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes.

Por otro lado, con base en su relación tenacidad-extensibilidad (PL) todas las masas se clasificaron como tenaces por sus valores superiores a 1.2. Sin embargo, los valores mayores para PL lo presentaron las combinaciones con los porcentajes 10 y 15 de harina integral de amaranto cristalino y opaco, respectivamente, siendo el más alto (PL= 6.2) para la mezcla con 15% de harina integral de amaranto opaco, el incremento en PL se debe al aumento en su tenacidad (P) y disminución de su extensibilidad (L), dado que esta mezcla presentó los valores más altos y bajos para estas variables (Cuadro 1). Mientras los valores más bajos para la relación tenacidad-extensibilidad, fueron para las combinaciones con 5% de amaranto y para la harina 100 % refinada de trigo, lo cual se debe a sus valores más altos de extensibilidad.

En el caso específico de la extensibilidad se observó una disminución de manera general para todas las mezclas respecto a la harina 100% refinada de trigo. Con base en lo anterior las mezclas con harina integral de amaranto cristalino y opaco disminuyen la extensibilidad y fuerza de la masa lo cual se debe a la presencia de proteínas y salvado del amaranto que no permiten la conformación de la red del gluten lo cual interfiere con el desarrollo optimo de la masa. Lo anterior concuerda con lo indicado por Cotovanu y Mironeasa, (2021) quienes encontraron resultados similares al sustituir la harina refinada de trigo por integral de amaranto con diferentes tamaños de partícula y porcentajes de adición de 5 a 20%.

En el Cuadro 2 se presentan los promedios de las variables volumen de pan, peso del pan, color de la miga y estructura de la miga. El volumen de pan de las mezclas varió de 485 a 700 ml, en la Figura 1 se representan gráficamente la diferencia. El valor más alto correspondió a la harina 100% refinada de la variedad testigo seguida por la mezcla con 5% de harina integral de amaranto, la cual fue la que disminuyó en menor medida el volumen de pan lo anterior concuerda con Sanz-Penella *et al.* (2013) quienes indicaron que la proporción de sustitución de harina integral de *Amaranthus cruentus* puede ser de hasta 20 g por 100 g de harina de trigo para mantener la calidad de la galleta y aprovechar su valor nutricional del amaranto.

Los valores menores correspondieron a las combinaciones con 15% de harina integral de amaranto opaco y cristalino. La mayoría de las mezclas con harina integral de amaranto opaco y cristalino mostraron valores menores a 600 ml lo anterior concuerda con Ayo (2001) quien reportó una disminución en el índice de panificación para porcentajes de sustitución de hasta 50% con harina de amaranto. Sin embargo, las combinaciones con la harina integral de amaranto opaco de 5 y 10% superaron en volumen a los mismos porcentajes con harina integral de amaranto cristalino.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables de calidad panadera de mezclas de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto.

| Mezcla | VP (ml) | PP (g) | CM | EM |
|------------------|----------|----------|--------|--------|
| 100% HRT | 700 a | 159.3 b | 9 b | 7.5 a |
| 5% HIAO/95% HRT | 657.5 ba | 157.6 b | 7 c | 7 ba |
| 10% HIAO/90% HRT | 590 bc | 161.5 ba | 6.5 dc | 6 b |
| 5% HIAC/95% HRT | 542.5 dc | 167.4 ba | 7 a | 7 ba |
| 15% HIAC/85% HRT | 510 d | 167.7 ba | 7 c | 6 b |
| 10% HIAC/90% HRT | 501.6 d | 170.3 a | 7 c | 6 b |
| 15% HIAO/85% HRT | 485 d | 162 ba | 6 d | 6.5 ba |

HIAO y HIAC= harina integral de amaranto opaco y cristalino, respectivamente. Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes. VP= volumen de pan; PP= peso del pan; CM= color de la miga (9= amarillo-crema, 7= café y 6= oscuro); EM= estructura de la miga (7= regular y 6= pobre).

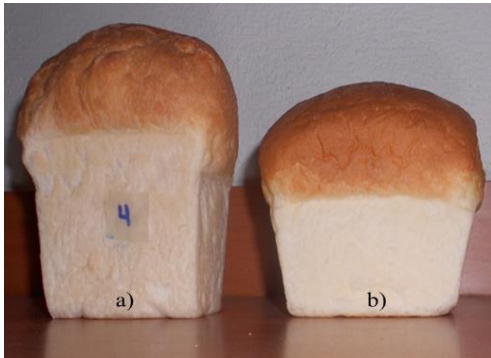


Figura 1. Representaciones gráficas del volumen de pan de mezclas de harina refinada de trigo (HRT) y harina integral de amaranto; a) 700 ml (100% HRT); y b) 485 ml (15% HIAO/85% HRT).

Para el caso específico de la mezcla con la combinación con 15% de la harina integral de amaranto opaco se asoció al volumen de pan más bajo lo cual se debe a su valor más alto de tenacidad (Cuadro 1), lo cual desfavorece el volumen de pan de acuerdo con Nash *et al.* (2006) quienes indicaron que la disminución de la fuerza y extensibilidad, así como el incremento en la tenacidad disminuyen el volumen de pan. Por otro lado, Miranda-Ramos *et al.* (2019); Cotovanu y Mironeasa (2021) indicaron que las presencias de las proteínas del amaranto obstaculizan la red de gluten y demeritan la expresión del volumen de pan. Sin embargo, estos autores también reportaron incremento en la concentración de proteína, lípidos, minerales y fibra en los productos panificables elaborados con las mezclas de harina de amaranto.

De manera general el peso del pan se incrementó a medida que se sustituyó la harina refinada de trigo con la harina integral de amaranto opaco y cristalino. Para el color de la miga la muestra de 100% de harina refinada presentó color amarillo-crema, mientras que para el resto de las mezclas presentaron color café y oscuro. Para el caso de la estructura de la miga fue regular para la harina refinada 100% de trigo, así como las mezclas con 5% de la harina integral de amaranto opaco y cristalino, el resto de las combinaciones mostraron estructura de miga pobre (Cuadro 2). La coloración y la estructura de la miga se modificó debido a la presencia del salvado y harina de

amaranto lo anterior concuerda con lo indicado con por Álvarez-Jubete *et al.* (2010) quienes reportaron su oscurecimiento debido a la presencia de harina de amaranto y quinua. Asimismo, Coțovanu y Mironeasa (2021) indicaron que la corteza de pan enriquecido con chía presentó coloración oscura. En la Figura 2 se presenta gráficamente el color de la miga amarilla crema y el tipo de miga encontradas en algunas mezclas analizadas.

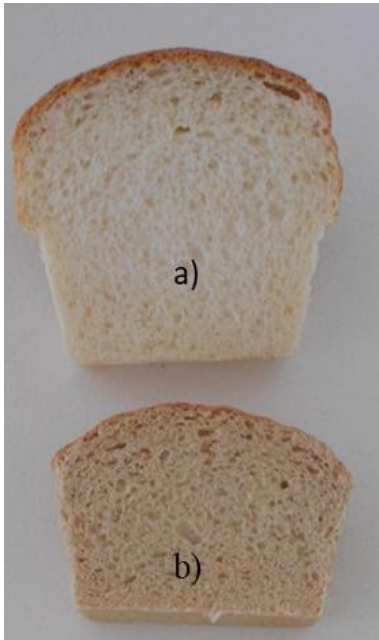


Figura 2. Representación gráfica del color y estructura de la miga; a) color amarillo-crema y regular (100% HRT); y b) color café y pobre (15% HIAO/85% HRT).

Variables mixográficas y calidad galletera

En el Cuadro 3 se presentan los promedios para las variables de amasado obtenidas del mixograma de las diferentes mezclas. Los tiempos de amasado variaron de 1 a 3 min. La muestra de 100% de harina refinada de la variedad testigo Urbina S2007 presentó un valor de 1.6 min de amasado, característico de masa débil. De manera general la sustitución de la harina refinada por harina integral de amaranto cristalino disminuyó el tiempo de amasado. Sin embargo, la muestra con 100 y 75% de harina integral de amaranto opaco incrementaron el tiempo de amasado.

Por otro lado, la altura del mixograma se asocia con la concentración de proteína en la harina refinada de trigo, de tal manera que la muestra con el valor más alto correspondió con 100% de harina refinada y al disminuir su porcentaje de harina de trigo en las diferentes mezclas redujo de manera general la altura del mixograma. Osella *et al.* (2008) indicaron que valores bajos de fuerza indicados por tiempo cortos de amasado favorecen la calidad galletera medida como factor galletero. Lo cual se corrobora con lo encontrado en este estudio dado que las mezclas 75 y 25% de harina integral de amaranto cristalino, con tiempos de amasado cortos se asociaron a valores altos de factor galletero, mientras que las muestras 100% y 75% de harina de amaranto opaco con mayores tiempos de amasado presentaron los factores galleteros más bajos.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables de amasado de mezclas de harina refinada de trigo (HRT) y harina integral de amaranto.

| Mezcla | TA (min) | EAM (min) | AM (mm) |
|------------------|----------|-----------|---------|
| 50% HIAO/50% HRT | 1 cd | 1.9 bc | 34.3 c |
| 75% HIAC/25% HRT | 1 d | 2.5 ba | 35.5 bc |
| 25% HIAC/75% HRT | 1.1 cd | 1.8 bc | 35.3 bc |
| 100% HIAC | 1.1 cd | 1.9 bc | 39.3 bc |
| 25% HIAO/75% HRT | 1.3 cbd | 2 bac | 26.7 d |
| 50% HIAC/50% HRT | 1.3 cbd | 1.5 bc | 35.3 bc |
| 100% HRT | 1.6 cb | 1.3 c | 46 a |
| 100% HIAO | 1.8 b | 1.9 bc | 41.3 ba |
| 75% HIAO/25% HRT | 3 a | 2.9 a | 25.6 d |

HIAO y HIAC= harina integral de amaranto opaco y cristalino, respectivamente. TA= tiempo de amasado; EAM = estabilidad al amasado; AM= altura del mixograma. Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 4 se presentan los promedios de la variable factor galletero el cual varió de 4.5 a 5.8 de tal manera que todas las mezclas se clasificaron como de muy buena a excelente con base a su factor galletero. En la Figura 3 se representa gráficamente el factor galletero. La mayoría de las mezclas se clasificaron como excelentes por su valor mayor a 5, con excepción de la combinación con 75% de la harina integral de amaranto opaco y la muestra 100% de harina integral de amaranto opaco las cuales se clasificaron como muy buenas por sus valores de 4.7 y 4.5, respectivamente.

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables de calidad galletera de mezclas de harina refinada de trigo (HRT) y harina integral de amaranto.

| Mezcla | Factor galletero |
|------------------|------------------|
| 25% HIAO/75% HRT | 5.8 a |
| 75% HIAC/25% HRT | 5.7 a |
| 25% HIAC/75% HRT | 5.5 ba |
| 100% HRT | 5.3 bac |
| 50% HIAC/50% HRT | 5.3 bac |
| 50% HIAO/50% HRT | 5 bdc |
| 100% HIAC | 5 bdc |
| 75% HIAO/25% HRT | 4.7 dc |
| 100% HIAO | 4.5 d |

HIAO y HIAC= harina integral de amaranto opaco y cristalino, respectivamente. Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Factor galletero (excelente= 5-6; muy buena= 4.5-4.9; buena= 4-4.4; regular= 3.5-3.9 y no apto <3.4).

Es importante indicar que dichas muestras presentaron los valores más altos de tiempo de amasado lo cual es indicativo que se incrementó la fuerza y por lo tanto disminuyó el factor galletero lo cual concuerda con Duyvejonck *et al.* (2012) quienes reportaron que la mayor fuerza de la masa se

relaciona negativamente con el diámetro de la galleta y consecuentemente con el factor galletero. Por otro lado, se identificó que las combinaciones con 25% de harina integral de amaranto opaco y cristalino, así como la de 75% de harina integral de amaranto cristalino superaron en calidad galletera del resto de las combinaciones y a la variedad testigo. Lo cual contradice a lo indicado por Sindhuja *et al.* (2005) quienes reportaron una disminución en el factor galletero con sustitución de 10 a 35% de harina de *Amaranthus gangeticus*.

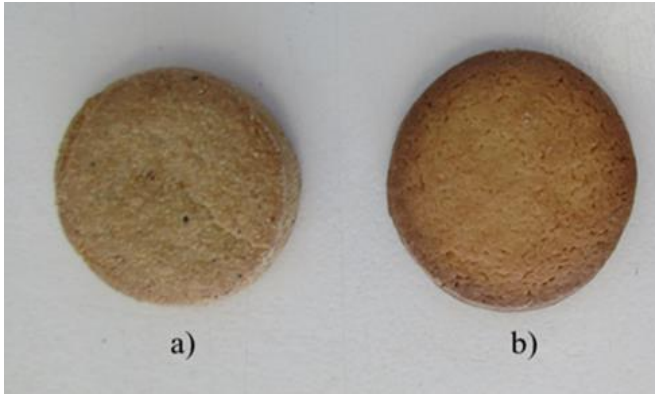


Figura 3. Representaciones gráficas del factor galletero de mezclas de harina refinada de trigo (HRT) y harina integral de amaranto, a) 4.5 (100% HIAO); y b) 5.8 (25% HIAO / 75% HRT).

Sin embargo, lo anterior puede deberse a las diferentes especies de amaranto utilizado en la elaboración de las galletas. Por otro lado, Man *et al.* (2017) concuerda con nuestros resultados dado que encontraron que la incorporación de la harina de amaranto favoreció el factor galletero e incremento el contenido de proteína y fibra. Con base en lo anterior la sustitución de harina integral de amaranto opaco y cristalino en la elaboración de galletas mantuvo el factor galletero e inclusive lo mejoró, lo cual consecuentemente mantiene el rendimiento galletero que comercialmente se ve reflejado en el número de galletas por unidad de harina utilizada.

Conclusiones

La sustitución de la harina integral de amaranto opaco o cristalino por harina refinada de trigo disminuyó la fuerza y extensibilidad e incremento la tenacidad de la masa lo que desfavoreció el volumen de pan lo cual también se asoció con miga de estructura pobre y de color café. La sustitución de 5 de harina integral de amaranto opaco afectó en menor medida la calidad panadera medida como volumen de pan. Por otro lado, para la calidad galletera medida como factor galletero todas las combinaciones se clasificaron como muy buenas a excelentes.

Inclusive se identificaron las combinaciones con 25% de harina integral de amaranto cristalino y opaco, así como la de 75% de harina de amaranto cristalino con valores galleteros superiores a la muestra testigo de 100% de harina refinada de trigo. Por lo que es importante indicar que se deben promover en el mercado de la panificación y galletería la sustitución de la harina refinada de trigo por la harina integral de amaranto lo cual promovería su consumo y aprovecharía su valor nutricional.

Literatura citada

- Álvarez, J. L.; Auty, M.; Arendt, E. K. and Gallagher, E. 2010. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *Eur. Food Res. Technol.* 230(3):437-445.
- AACC. 2005. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC. 9th (Ed.). American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Ayala, G. A. V.; Espitia, R. E.; Altamirano, C. J. R.; Rocío, I. P. A.; González, M. L.; Muñiz, R. E. y Almaguer, V. G. 2020. Factores que favorecen el consumo de amaranto en la Ciudad de México: caso de estudio Xochimilco. *Textual.* 75(8):75-99.
- Ayo, J. A. 2001. The effect of amaranth grain flour on the quality of bread. *Int. J. Food Prop.* 4(2):341-351.
- Bhat, A.; Satpathy, G. and Gupta, R. K. 2015. Evaluation of Nutraceutical properties of *Amaranthus Hypochondriacus* L. grains and formulation of value-added cookies. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 3(5):51-54.
- CANIMOLT. 2016. Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Reporte estadístico 2015 con datos de 2016. <https://issuu.com/canimolt/docs/reporte-estadi-stico.2015-2016>.
- Coțovanu, I. and Mironeasa, S. 2021. Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods.* 10(7):1-19.
- Czerwin'ski, J.; Bartnikowska, E.; Leontowic, H.; Lange, E.; Leontowicz, M.; Katrich, E.; Trakhtenberg, S. and Gorinstein, S. 2004. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterolcontaining diets. *J. Nutr. Biochem.* 15(10):622-629.
- Denova, G. E.; Castañón, S.; Talavera, J. O.; Gallegos, C. K.; Flores, M.; Dosamantes, C. D. and Salmerón, J. 2010. Dietary patterns are associated with metabolic syndrome in an urban Mexican population. *J. Nutr.* 140(10):1855-1863.
- García, G. E.; De la Llata, R. M.; Kaufer, H. M.; Tusié, L. M.T.; Calzada, L. R.; Vázquez, V. V.; Barquera, C. S.; Caballero, R. A. J.; Orozco, L.; Velásquez, F. D.; Rosas, P. M.; Barriguete, M. A.; Zacarías, C. R. y Sotelo, M. J. 2008. La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. *Arch. cardiol. Méx.* 78(3):318-337.
- Huerta, O. J. A.; Maldonado, C. E. y Barba de la R. A. P. 2012. Amaranto: propiedades benéficas para la salud. *In: Espitia, R. E. (Ed.). Amaranto: ciencia y tecnología. Libro científico núm. 2. INIFAP/SINAREFI. México. 303-312 pp.*
- Joshi, D. C.; Sood, S.; Hosahatti, R.; Kant, L.; Pattanayak, A.; Kumar, A.; Yadav, D. and Stetter, M. G. 2018. From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theor. Appl. Genet.* 131(9):1807-1823.
- Nash, D.; Lanning, S. P.; Fox, P.; Martin, J. M.; Blake, N. K.; Souza, E.; Graybosch, R. A.; Giroux, M. J. and Talbert, L. E. 2006. Relationship of dough extensibility to dough strength in a spring wheat cross. *Cereal Chem.* 83(3):255-258.
- Man, S.; Păucean, A.; Muste, S.; Chiș, M. S.; Pop, A. and Călian, I. D. 2017. Assessment of amaranth flour utilization in cookies production and quality. *J. Agroaliment. Process. Technol.* 23(2):97-103.
- Miranda, R. K. C.; Sanz, P. N. and Haros, C. M. 2019. Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *LWT-Food Sci. Technol.* 114(11):1-12.
- Olvera, M. S. 2022. Sobre la intervención nutricional y alimentaria en la diabetes mellitus. *Rev. Cuba. Aliment. Nutr.* 30(2):135-152.

- Sanz, P. J. M.; Wronkowska, M.; Soral, S. M. and Haros, M. 2013. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT-Food Sci. Technol.* 50(3):679-685.
- Shamah, L. T.; Vielma, O. E.; Heredia, H. O.; Romero, M. M.; Mojica, C. J.; Cuevas, N. L.; Santaella, C. J. A. y Rivera, D. J. 2020. Encuesta nacional de salud y nutrición 2018-2019: resultados nacionales. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México. 186-243 pp.
- Sindhuja, A.; Sudha, M. L. and Rahim, A. 2005. Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. *Eur. Food Res. Technol.* 221(5):597-601.
- SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario 2020. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf>.
- Vásquez, L. F.; Verdú, A. S.; Islas, A. R.; Barat, B. J. M. y Grau, M. R. 2016. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Rev. Iberoam. Technol. Postcos.* 17(2):307-317.