

Composición química y propiedades tecnológicas / sensoriales de tortillas producidas a base de maíz azul y frijol tépari procesados por extrusión alcalina

K.E. Arechiga-Chávez¹, C. Reyes-Moreno^{1,2}, R. Gutiérrez-Dorado^{1,2}, J.X.K. Perales-Sánchez^{1,2}, L.C. Gámez-Valdez², C.A. Gómez-Aldapa³

¹Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, A.P. 1354, Culiacán, Sin., C.P. 80000, México. ²Programa Regional de Posgrado en Biotecnología, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, A.P. 1354, Culiacán, Sin., C.P. 80000, México. ³Área Académica de Química, ICBI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca – Tulancingo, Km 4.5 s/n, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184, México. Katia_each@hotmail.com

RESUMEN: La extrusión de maíz es una tecnología alternativa a la nixtamalización para producir tortillas de buena calidad, con menor degradación de nutrimentos y compuestos bioactivos, mayor digestibilidad proteínica, sin efluentes contaminantes y menor gasto de agua, energía y tiempo. La incorporación de leguminosas, como frijol, mejora los niveles de proteína, aminoácidos esenciales, micronutrientes y compuestos bioactivos de los productos de maíz. El objetivo del trabajo fue producir tortillas a base de harinas de maíz azul (*Zea mays* L.) y frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*) procesados mediante extrusión alcalina (HMAE y HFTE) y evaluar su calidad nutrimental, tecnológica y sensorial. Tortillas fueron elaboradas adicionando diferentes cantidades (10, 15 y 20 g) de HFTE a 90, 85 y 80 g de HMAE, respectivamente, y se les evaluó su hinchabilidad, rolabilidad, color, sabor, textura y aceptabilidad global. Las tortillas adicionadas con 20% de HFTE fueron evaluadas en su composición química. Las tortillas adicionadas con HFTE tuvieron calidad tecnológica y sensorial aceptables, así como, mayor contenido de proteína, minerales y fibra dietaria que las tortillas elaboradas solo con HMAE. Estas tortillas fortificadas tienen potencial para mejorar el estatus de salud de los consumidores.

Palabras clave: Extrusión, frijol tépari, maíz azul.

ABSTRACT: The extrusion of maize is an alternative technology to nixtamalization to produce good quality tortillas, with less degradation of nutrients and bioactive compounds, higher protein digestibility, without contaminating effluents production and less consumption of water, energy and time. The incorporation of legumes, such as beans, improves the levels of protein, essential amino acids, micronutrients and bioactive compounds of maize products. The objective of the work was to produce tortillas based on flours of blue corn (*Zea mays* L.) and tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) processed by alkaline extrusion (EBCF and ETBF) and to evaluate their nutrimental, technological and sensory quality. Tortillas were prepared by adding different amounts (10, 15 and 20 g) of ETBF to 90, 85 and 80 g of EBCF, respectively, and their puffing, rollability, color, taste, texture and overall acceptability were evaluated. The tortillas added with 20% of ETBF were evaluated in their chemical composition. The tortillas added with ETBF had acceptable technological and sensory quality, as well as, higher content of protein, minerals, and dietary fiber than tortillas made only with EBCF. These fortified tortillas have the potential to improve the health status of consumers.

Keywords: Extrusion, blue corn, tepary bean.

Área: Alimentos Funcionales.

INTRODUCCIÓN

Hoy día el estilo de vida de la sociedad se ha modificado, afectando principalmente el tipo de alimentación que cada familia práctica, trayendo consigo consecuencias graves, con ello, impulsando a la elevación de los índices de enfermedades crónico- degenerativas, obesidad, diabetes, hipertensión, etc. Por lo anterior se ha despertado un interés particular por indagar sobre los diferentes compuestos en la gama de alimentos que nos rodean. El mercado de harina de maíz y de la tortilla posee gran importancia para la economía mexicana y es considerada el alimento principal de los mexicanos. México es considerado como el centro de origen y diversidad del maíz, es por mucho el cultivo agrícola más

importante de este país. La diversidad del maíz se ha agrupado en al menos 59 razas con base en características morfológicas, bioquímicas, genéticas y moleculares. Como variantes dentro de las razas se ha propuesto una clasificación por tipos o por coloración de grano. El maíz azul debe su color a las antocianinas las cuales están localizadas en una capa delgada que recubre al endospermo, estas se han estudiado por sus propiedades antioxidantes tales como inhibidores de radicales libres, actividad anti-proliferativa *in vitro* contra células cancerosas, posible efecto preventivo sobre la enfermedad cardiovascular desarrollo y su capacidad percibida para reducir el riesgo de diabetes (Aguayo *et al.*, 2012; Serna *et al.*, 2013; Espejel *et al.*, 2016). Por su parte el frijol es la leguminosa alimentaria más importante y una fuente importante de proteína de la dieta en varios países en desarrollo, especialmente en América Latina. (Reyes-Rivas 2008). Frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*), es una leguminosa nativa que crece en las tierras secas del noroeste de México. Esta planta es de ciclo corto y produce grano de alta calidad proteína adecuada a la nutrición (González *et al.*, 2005). La nixtamalización es una tecnología utilizada ampliamente en América para la obtención de una gran variedad de productos (tortillas, botanas, atoles, entre otros). El proceso de nixtamalización tradicional involucra cambios químicos, estructurales y nutricionales en los diversos constituyentes del grano, sin embargo, debido a que esta requiere de largos periodos de tiempo y el uso de gran cantidad de agua, se han desarrollado procesos alternativos que se enfocan a la reducción de tiempo de procesamiento y de efluentes contaminantes. Uno de estos procesos es la extrusión el cual es un proceso continuo en el que se desarrolla un proceso HTST (temperatura alta - tiempo corto) que transforma una variedad de ingredientes a productos intermedios o terminados teniendo ventajas como: versatilidad, realiza simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial, requiere de poca mano de obra y espacio para su instalación, eficiente utilización de la energía, alta calidad nutricional del producto (González *et al.*, 2004; Apro *et al.*, 2000). Debido a ello, el objetivo de este trabajo de investigación fue producir tortillas a base de harinas de maíz azul (*Zea mays L.*) y frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*) procesados mediante extrusión alcalina (HMAE y HFTE) y evaluar su calidad nutricional, tecnológica y sensorial. Los resultados de esta investigación indicaron que la adición de 20% de harina de frijol tépari extrudido a las tortillas producidas a partir de harina de maíz azul extrudido mejoraron significativamente su contenido de proteína, minerales y fibra dietaria, tanto soluble como insoluble. Estas tortillas presentaron hinchabilidad, roabilidad y aceptabilidad sensorial similares a las tortillas elaboradas a base de solo harina de maíz azul extrudido, la cual fue empleada como control. Debido a estas propiedades nutrimentales, tecnológicas y sensoriales de las tortillas adicionadas con harina de frijol tépari extrudido, éstas podrían ser empleadas como un excelente vehículo para para mejorar el estatus de salud de los consumidores de este tipo de productos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se empleó maíz azul (*Zea mays L.*) y frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*) obtenidos del mercado de la localidad. Los granos fueron limpiados y almacenados a 4°C en contenedores ligeramente sellados hasta su uso.

Producción de Harina de Maíz Azul Extrudido y Harina de Frijol Tépari Extrudido

Primeramente, los granos fueron sometidos a un proceso de molienda utilizando un molino Thomas Wiley model 4 hasta pasar a través de una malla hasta obtener grits que pasaron a través de una malla #40 (0.425 mm). Posteriormente, los grits fueron añadidos con 2.1 g de cal por cada 1000 g de grits, y con la ayuda de un atomizador se añadió el volumen de agua destilada necesaria para alcanzar una humedad de 28% para maíz azul y 24% para frijol tépari. Los grits acondicionados se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron (4°C / 12 h) para asegurar el equilibrio de la humedad. Antes de la extrusión los lotes se atemperaron al medio ambiente (25°C / 4 h). El proceso de extrusión se realizó en un extrusor de tornillo simple modelo 20DN (CW Brabender Instruments, Inc, NY, EUA) con diámetro de tornillo de 19 mm; relación de longitud a diámetro 20:1; razón de compresión nominal 1:1 y una apertura de dado de 3 mm. Se utilizando las siguientes condiciones de extrusión para maíz azul:

temperatura 85°C/240 rpm y Frijol tépari: temperatura 137°C/220 rpm. Una vez obtenidos los extrudidos se colocaron en charolas de aluminio perforadas y posteriormente fueron sometidos a enfriado y secado a temperatura ambiente por 24 h. Finalmente se sometieron a molienda (UD Cyclone Sample Mill, UD Corp, Boulde, CO, EUA) hasta pasar a través de malla #80 (0.180 mm); se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a -4-8°C hasta su posterior utilización.

Elaboración de tortillas

Las tortillas se prepararon a partir de 500 g de una mezcla de harinas de maíz azul y frijol tépari extrudidos utilizando diferentes proporciones (80-10%, 80-15%, 80-20%, respectivamente). Las mezclas de harinas fueron añadidas con suficiente agua para obtener masa con una consistencia adecuada para la producción de tortillas. La masa fresca (30 g) se moldeó en forma de disco plano utilizando una máquina manual. Los discos de masa se cocieron en un comal caliente de $290 \pm 10^\circ\text{C}$ por 27 s en un lado, seguido de 30 s en la otra cara, posteriormente fueron volteadas otra vez hasta su expansión (hinchamiento). Las tortillas frescas se secaron y fueron molidas para obtener harina de tortillas la cual se almacena a 4°C en bolsas de polietileno para su posterior análisis.

Composición química

Se determinó contenido de proteína, lípidos, cenizas y fibra dietaria soluble e insoluble mediante metodologías de la AOAC (1999) y se determinaron carbohidratos por diferencia. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

Propiedades tecnológicas y sensoriales de las tortillas

Hinchabilidad

La hinchabilidad de las tortillas es una prueba subjetiva descrita por Milán-Carrillo y col., (2006) y consiste en un examen visual del grado de hinchamiento de tortillas a lo largo de su cocción. El hinchamiento se evaluó utilizando una escala de 1 a 3, donde: 1 = tortillas sin hinchamiento, 2 = tortillas con un hinchamiento intermedio y 3 = tortillas con un hinchamiento completo.

Rolabilidad

Esta propiedad es un parámetro de calidad importante en las tortillas, se utilizó la metodología descrita por Bedolla y Rooney (1984), que determina la capacidad de enrollamiento de la tortilla según su ruptura. La prueba se realizó luego de 30 min de elaboración de tortillas. Las tortillas se enrollaron en una barra de vidrio de 2.54 cm de diámetro y se observó el grado de rotura. Se utilizó una escala subjetiva para evaluar la capacidad de enrollamiento de las tortillas. Valores del 1 al 5 representan el porcentaje de área de las tortillas que presentó grietas en la superficie y se evaluó con la siguiente escala: 1 = 0%, 2 = 25%, 3 = 50%, 4 = 75%, 5 = 100%.

Evaluación sensorial

Las piezas de tortillas precalentadas a 45°C se presentaron en una placa al gusto. El panel de jueces no entrenados estaba compuesto por 120 consumidores (con edades entre 18 y 35 años) que eran consumidores habituales de tortillas. Agua purificada se usó como limpiador del paladar entre las muestras. Los consumidores evaluaron el sabor, color, textura y aceptación general de las tortillas. Se pidió a los consumidores que indicaran su grado de agrado / disgusto utilizando una escala LAM (Labeled Affective Magnitude), la cual se basó en una escala hedónica de 11 puntos (1=Máximo valor de desagrado imaginable, 11= Máximo valor de agrado imaginable).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los resultados de las propiedades tecnológicas y sensoriales de las tortillas elaboradas a partir de harina de maíz azul extrudido adicionadas con harina de frijol tépari extrudido (HFTE). Se puede observar que al aumentar la cantidad de HFTE en las tortillas de maíz azul la hinchabilidad mejoró significativamente, mientras que la rolabilidad de las mismas fue similar cuando se

emplearon las diferentes proporciones de HFTE. Al contrastar estas tortillas con la harina control elaborada a partir de solo harina de maíz azul extrudido (HMAE), las tortillas elaboradas con 20% de HFTE presentó hinchabilidad y rolabilidad similar. En cuanto a la evaluación sensorial de las tortillas, se encontró que los panelistas dijeron que las tortillas elaboradas con 20% de HFTE presentaron el mejor color y textura, mientras que las tortillas producidas con 10% de HFTE mostraron el mejor sabor. Al contrastar los resultados de la evaluación sensorial de las tortillas adicionadas con HFTE con las tortillas producidas con la harina control se observó que la adición de HFTE a las tortillas mejoró significativamente su textura, los panelistas no encontraron diferencias importantes en el color, mientras que el sabor sufrió una reducción significativa en su aceptación sensorial. En cuanto a la aceptabilidad global, los resultados indicaron que las tortillas elaboradas con 10% de HFTE presentaron la mejor aceptación con un valor de 70.49, el cual se corresponde a una aceptabilidad entre “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho” en una escala hedónica de 11 puntos. Las tortillas producidas con 15 y 20% de HFTE fueron calificadas con valores de 62.67 y 63.93, respectivamente, los cuales correspondieron a una aceptabilidad entre “me gusta ligeramente” y “me gusta moderadamente”. Las tortillas producidas con la harina control presentaron una aceptabilidad global de 72.50, ubicándose entre “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho”, similar al resultado obtenido con las tortillas producidas con 10% de HFTE. Con base a los resultados de las propiedades tecnológicas y sensoriales de las tortillas elaboradas con frijol tépari en la presente investigación se seleccionó la proporción del 20% para evaluar la composición química de las tortillas. En la Tabla I se muestran los resultados de la composición química de las tortillas. Se puede ver que la adición del 20% de HFTE mejoró significativamente el contenido de proteína, minerales y fibra dietaria, tanto soluble como insoluble, de las tortillas. Este aumento en estos componentes químicos de las tortillas puede deberse a que la harina de frijol tépari extrudido es una mejor fuente de los mismos que la harina de maíz azul extrudido (datos no mostrados). El mayor contenido de minerales también se debe a que durante el acondicionamiento de las harinas, a éstas se les añadió cal. Gómez-Aldapa *et al.*, (1999) compararon tortillas de maíz hechas por el proceso tradicional y por extrusión encontrando que la adición de hidróxido de calcio durante la preparación para las tortillas aumento 20 veces el contenido de calcio. Otros autores también han reportado este aumento. En el presente trabajo de investigación se puede concluir que debido a las buenas propiedades nutrimentales, tecnológicas y sensoriales de las tortillas adicionadas con harina de frijol

tépari extrudido, éstas podrían ser empleadas como un excelente vehículo para para mejorar el estatus de salud de los consumidores de este tipo de productos.

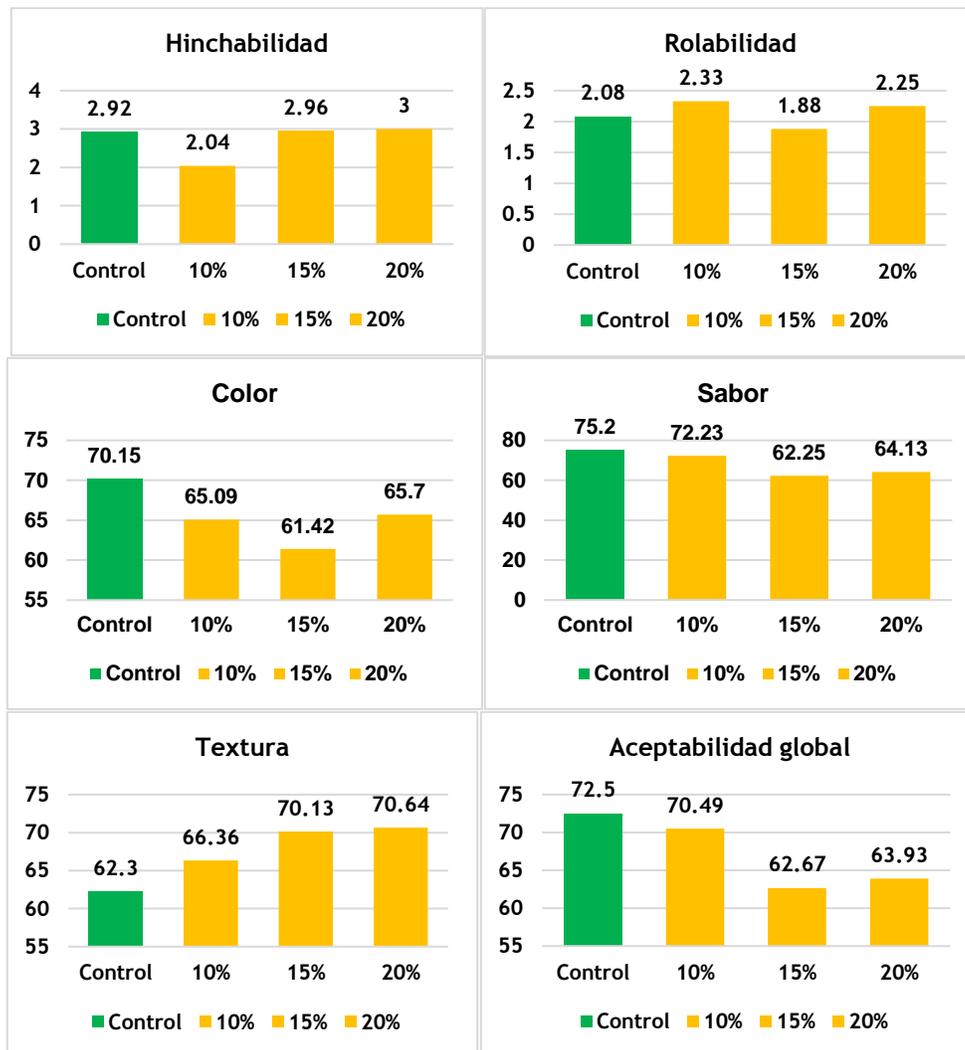


Figura 1 Gráficas mostrando el efecto de la adición de harina de frijol tépari extrudido (HFTE), en diferentes proporciones (10, 15, 20%), sobre las propiedades tecnológicas y sensoriales de tortillas de harina de maíz azul extrudido (HMAE). Como control se evaluaron tortillas de harina de maíz azul extrudido sin la adición de HFTE.

Tabla I. Composición química y propiedades tecnológicas / sensoriales de tortillas elaboradas a partir de harina de maíz azul extrudido (HMAE) añadidas con 20% de harina de frijol tépari extrudido (HFTE).

Propiedad	Tortillas de HMAE ¹	Tortillas de HMAE + HFTE ²
Composición química (% , bs)		
Proteína	11.57±0.25 ^B	14.45±0.16 ^A
Lípidos	5.31±0.28 ^A	2.66±0.12 ^B
Minerales	1.37±0.04 ^B	2.05±0.05 ^A
Fibra dietaria		
Soluble	0.66±0.09 ^B	0.92±0.08 ^A
Insoluble	8.90±0.18 ^B	10.12±0.13 ^A
Total	9.57±0.12 ^B	11.04±0.18 ^A
Carbohidratos	72.18±0.15 ^A	69.80±0.20 ^B
Tecnológica / Sensorial		
Hinchabilidad ³	2.92 ^A	3.00 ^A
Rolabilidad ⁴	2.08 ^A	2.25 ^A
Aceptabilidad global ⁵	72.50 ^A	63.93 ^B

^{A,B} Medias con diferente letra superíndice en el mismo renglón son diferentes significativamente (Duncan, p<0.05). ¹Tortillas elaboradas con 100 % harina de maíz azul extrudido (HMAE). ²Tortillas elaboradas con 80 % harina de maíz azul extrudido (HMAE) + 20 % harina de frijol tépari extrudido (HFTE). ³ 1 = Poco o nulo hinchamiento (0-30%), 2 = Hinchamiento medio (30-70%), 3 = Hinchamiento completo (70-100%). ⁴ Valores del 1 al 5 representan el porcentaje de área de las tortillas que presentó grietas en la superficie y se evaluó con la siguiente escala: 1 = 0%, 2 = 25%, 3 = 50%, 4 = 75%, 5 = 100%. ⁵ La aceptabilidad global se evaluó empleando una escala LAM (Labeled Affective Magnitude), la cual se basó en una escala hedónica de 11 puntos (1=Máximo valor de desagrado imaginable, 11= Máximo valor de agrado imaginable).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo-Rojas J., Mora-Rochin S., Cuevas-Rodríguez EO., Serna-Saldívar SO., Gutiérrez-Urbe JA., Reyes-Moreno C., Milán-Carrillo J. 2012. Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Tortillas Obtained after Lime-Cooking Extrusion Process of Whole Pigmented Mexican Maize. *Plant Foods Hum Nutr* 67:178–185 p.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis 16th ed. Harla, Association of Official Analytical Chemists, St. Paul, USA
- Apró N., Rodríguez J., Gornatti C. 2000. La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. *Jornadas de Desarrollo e innovación.*
- Bedolla, S. y Rooney, L.W. 1984. Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*, 29:732–735.
- Espejel-García MV., Mora-Flores JS., García-Salazar JA., Pérez-Elizalde S., García-Mata R. 2016. Caracterización del consumidor de tortilla en el estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo.*
- Gómez-Aldapa C., Martínez-Bustos F., Figueroa CJD., Ordorica FCA. 1999. A comparison of the quality of whole corn tortillas made from instant corn flours by traditional or extrusion processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 34, 391–399
- González E., Valadez MC., Reynoso R., Loarca G., 2005. Tannins, Trypsin Inhibitors and Lectin Cytotoxicity in Tepary (*Phaseolus acutifolius*) and Common (*Phaseolus vulgaris*) Beans. *Plant Foods for Human Nutrition* 60: 137–145 p.
- González R., Reguera E., Mendoza L., Figueroa JM., Sánchez-Sinécio F. 2004 Physicochemical changes in the hull of corn grains during their alkaline cooking. *J. Agric. Food Chem.* 52:3831-3837
- Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R, Perales-Sánchez, J.X.K., Cuevas-Rodríguez E.O., Ramírez-Wong, R, Reyes-Moreno, C. 2006. The optimization of the extrusion process when using maize flour with a modified amino acid profile for making tortillas. *International Journal Food Science and Technology*, 41:727-736
- Reyes-Rivas E. 2008. Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol. *Revista Investigación Científica*, Vol. 4, No. 3, Nueva época, ISSN 1870–8196.
- Serna-Saldívar SO., Gutiérrez-Urbe JA., Mora-Rocín S., García-Lara S. 2013. Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 Supl. 3-A: 295 – 304 p.