

ELABORACIÓN DE UN CEREAL PARA DESAYUNO A BASE DE MAÍZ AZUL (*Zea mays L*) Y AMARANTO (*Amaranthus spp*)

Cabrera Canales Z. E.^a, Acevedo Sandoval O. A.^a, Navarro Cortez R. O.^b, Falfán Cortés R. N.^c, Castro Rosas J.^c, Gómez Aldapa C. A.^{c,*}

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Maestría en Ciencia de los Alimentos, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Av. Rancho Universitario s/n, km. 1, C.P. 43760, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

^b Instituto Tecnológico de Durango, Doctorado en Ciencias en Ingeniería Bioquímica, Boulevard Felipe Pescador, No. 1830 Oriente, C.P. 34080, Durango, Durango, México.

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas en Ingeniería, Carretera Pachuca-Tulancingo, km. 4.5, C.P. 42183, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

*cgomez@uaeh.edu.mx

RESUMEN:

Los cereales para desayuno son productos obtenidos de cereales, leguminosas, tubérculos, frutas, etc; mediante diferentes procesos industriales. El objetivo de la investigación fue elaborar un cereal para desayuno por extrusión, con un alto contenido de fibra dietaria y antioxidantes, combinando un material como fuente de fibra y antioxidantes, maíz azul (*Zea mays L*) y amaranto (*Amaranthus spp*). Se analizaron las características fisicoquímicas como índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de expansión (IE) y dureza de los extrudidos obtenidos de 20 mezclas con diferentes proporciones de las harinas bajo estudio. Los resultados del análisis de la caracterización fisicoquímica de las diferentes formulaciones para el cereal elaborado, indicaron que el proceso de extrusión tuvo un efecto significativo en la composición, propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos.

ABSTRACT:

Breakfast cereals are products made from cereals, legumes, tubers, fruits, etc; by different industrial processes. The aim of the research was to develop a breakfast cereal extrusion, with a high content of dietary fiber and antioxidants, combining a material as a source of fiber and antioxidants, blue corn (*Zea mays L*) and amaranth (*Amaranthus spp*). The physicochemical characteristics such as water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), expansion index (EI) and hardness of the extrudes obtained of 20 mixtures with different proportions of the flour under study were analyzed. The analysis results of the physicochemical characterization of the different formulations for processed cereal indicated that the extrusion process had a significant effect on the composition, physicochemical and functional properties of the products.

Palabras clave:

Cereal para desayuno, extrusión, fibra

Keyword:

Breakfast cereal, extrusion, fiber

Área: Alimentos funcionales.

INTRODUCCIÓN

Los cereales para desayuno son productos destinados a niños y personas adultas, formando parte de su dieta. En esta investigación se generó un cereal para desayuno diferente a los existentes en el mercado, con propiedades funcionales, proporcionando a la dieta una alta cantidad de fibra soluble y antioxidantes; empleando la tecnología de extrusión, tecnología que permite mejorar el perfil de

nutrientes mediante el aumento de fibra dietética (Stojceska *et al.*, 2010), un material como fuente de fibra y antioxidantes (proceso de registro de patente), maíz azul y amaranto como materias primas. Donde el material empleado es una fuente rica de fibra y antioxidantes. El maíz azul posee gran cantidad de antioxidantes y una calidad nutricional mayor que el maíz típico blanco o amarillo (Castañeda, 2011). El amaranto es rico en proteína y a diferencia de algunos cereales posee mayor contenido de lisina; además, cuando se realizan mezclas de harina de amaranto con harina de maíz (50:50), la combinación de aminoácidos resulta ser excelente, debido a que la lisina que abunda en el amaranto es deficiente en el maíz (Silva *et al.*, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las materias primas y harinas

La fuente de fibra, el maíz azul y el amaranto fueron obtenidos del estado de Hidalgo, México. La fuente de fibra y antioxidantes fue convertida en harina (proceso de registro de patente). Los granos de maíz y la semilla de amaranto fueron molidos por separado, en un molino de discos y después en un molino de martillos.

Proceso de extrusión

El proceso de extrusión se realizó en un extrusor de laboratorio (C.W. Brabender, modelo 2276), con una matriz circular y un barril dividido en tres zonas de calentamiento, el tornillo empleado y el dado de salida fueron específicos. La velocidad de tornillo fue constante, así como la temperatura de las tres zonas del barril. La temperatura de la matriz, la humedad de alimentación y la concentración de la fuente de fibra fueron variadas de acuerdo al diseño experimental.

Caracterización fisicoquímica de los extrudidos

La caracterización fisicoquímica de los extrudidos comprendió los análisis de índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de expansión (IE), y dureza, de acuerdo a las metodologías correspondientes (Anderson *et al.*, 1969; Gujska y Khan, 1990; Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable, con tres variables independientes: temperatura de la matriz, humedad de alimentación y concentración de la fuente de fibra, el diseño constó de 20 tratamientos, con un $\alpha=1.68179$ y fue aplicado para la elaboración de los productos. Los datos fueron analizados por superficie de respuesta empleando el software design expert 7.1.5 (Stat Ease Inc., Minneapolis, MN).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades de los productos extrudidos fueron estudiados, los coeficientes de regresión del modelo cuadrático y el nivel de significancia para las variables de respuestas: índice de absorción de

agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de expansión (IE) y dureza de los productos obtenidos mediante extrusión se presentan en la tabla I.

Tabla I. Coeficientes de regresión del modelo cuadrático en términos de factores actuales para las diferentes variables de respuesta para los productos extrudidos

Coeficientes	IAA	ISA	IE	Dureza
b₀	-22.14137	-132.92139	-5.35503	+476.42497
Lineal				
b₁	+0.018965*	+2.40494*	+0.022589***	-3.27299***
b₂	+2.66102***	-5.76458***	+0.50073***	-25.39286***
b₃	-0.037413	+1.35823***	+0.16742***	+9.44308
Interacción				
b₁₂	+4.46206E-003	+0.024833**	+1.63974E-003***	+9.60964E-003
b₁₃	+2.79732E-003*	-5.50989E-003	-2.91324E-004***	-0.062049***
b₂₃	-2.65120E-005	-0.028149	-6.72051E-003***	-0.042124
Cuadrático				
b₁₁	-4.41015E-004	-8.80664E-003***	-1.73673E-004***	+0.011237***
b₂₂	-0.083083***	+0.039838	-0.018300***	+0.70673***
b₃₃	-0.018353***	+0.018573***	-7.47253E-004***	+0.054643***
R² ajustada	0.8408	0.8312	0.8571	0.8311
Probabilidad de F (modelo)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

*, ** y *** indican significancia a P<0.10, 0.05 y 0.01, respectivamente

Modelo en el cual b_1 , = Temperatura de la matriz (°C), b_2 = Humedad de alimentación (%) y b_3 = Concentración de la fuente de fibra (g) respectivamente para la ecuación: $Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + B_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2$

IAA= Índice de absorción de agua, ISA= Índice de solubilidad en agua y IE = Índice de expansión

Índice de Absorción de Agua (IAA)

Los coeficientes de regresión múltiple del modelo cuadrático para IAA de los productos obtenidos (tabla I), muestran que la variable de temperatura en su término lineal y la interacción temperatura-concentración de la fuente de fibra presentó un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.10$), la variable de humedad en su término lineal y cuadrático tuvo efecto a una $p < 0.01$. En tanto que, la variable de concentración de la fuente de fibra en su término lineal y su interacción con la humedad no presentaron ningún efecto ($p < 0.1, 0.05$ y 0.01); sin embargo, en su término cuadrático si presentó efecto estadísticamente significativo ($p < 0.01$). Los resultados obtenidos del IAA para el cereal obtenido muestran que a humedad constante, el mayor valor de IAA (6.020 ± 0.058 g.a.a/g.s.s) se obtuvo a valores intermedios de temperatura y concentración de la fuente de fibra (figura 1). Este resultado es inferior al encontrado en productos elaborados con arroz integral a altas temperaturas (7.600 g.a.a/g.s.s) (González *et al.*, 2013), donde se sugiere que IAA es más afectado por el efecto térmico que por la fricción durante la extrusión. Los IAA encontrados pueden ser debidos a la capacidad de absorción de agua de la fibra y/o al almidón extrudido contenido en las muestras.

Índice de Solubilidad en Agua (ISA)

Los valores del ISA (tabla I) de los productos estudiados muestran que la variable temperatura en sus términos lineal, cuadrático y la interacción temperatura-humedad presentaron efecto estadísticamente significativo ($p < 0.10$, 0.01 y 0.05 , respectivamente), mientras que la variable de humedad, tuvo efecto sólo en su término lineal ($p < 0.01$), en tanto que la variable de concentración de la fuente de fibra presentó efecto significativo ($p < 0.01$) sólo en sus términos lineal y cuadrático. El mayor valor de ISA, para el cereal obtenido ($14.457 \pm 1.175 \%$), se encontró a bajas temperaturas y altas concentraciones de la fuente de fibra (figura 2), este resultado difiere para productos extrudidos con harinas de lenteja y plátano (Hernández-Nava *et al.*, 2011) donde el mayor ISA (60%) se encontró a altas temperaturas y bajas concentraciones de harina de lenteja. El ISA está relacionado con la cantidad de moléculas solubles en agua, se asocia a la dextrinización y es utilizado como un indicador de la degradación de la estructura molecular de los polímeros presentes en el almidón y en la fibra dietaria. De acuerdo a los resultados, el ISA obtenido puede deberse a las bajas temperaturas y baja velocidad de tornillo empleadas, pues a estas condiciones el daño térmico-mecánico es poco severo, provocando un menor rompimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina en moléculas de menor tamaño.

Índice de Expansión (IE)

Los coeficientes de regresión múltiple del modelo cuadrático para IE de los extrudidos (tabla I), muestran que las variables temperatura, humedad y concentración de la fuente de fibra, tanto en sus términos lineal y sus respectivas interacciones de segundo orden presentaron efecto estadísticamente significativo ($p < 0.01$). Para el cereal obtenido, el mayor valor de IE fue de 1.660 ± 0.034 , el cual se obtuvo a bajas temperaturas y bajas concentraciones de la fuente de fibra (figura 3). Este resultado pudiera ser debido al contenido de fibra en los productos extrudidos, ya que al disminuir el contenido de esta, el grado de expansión fue mayor y viceversa. El resultado de este análisis es inferior al reportado para botanas con harina de pescado (3.480 ± 0.010) (Ratankumar *et al.*, 2014) debido a la baja cantidad de fibra presente en tales botanas y superior al IE obtenido para botanas con mezclas de avena y pericarpio de maíz nixtamalizado (1.310 ± 0.010) (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2013). En tales estudios se afirma que los efectos en la expansión son atribuidos al contenido de ingredientes ricos en fibra.

Dureza

De acuerdo a la tabla I, se muestra que para la dureza de los productos elaborados, la variable temperatura en sus términos lineal y cuadrático presentaron efecto estadísticamente significativo ($p < 0.01$), la humedad, tanto en su término lineal, cuadrático e interacción con la concentración de la fuente de fibra, también tuvieron efecto estadísticamente significativo ($p < 0.01$), en tanto que la concentración de la fuente de fibra sólo tuvo efecto ($p < 0.01$) en su término cuadrático. En el análisis de dureza se obtuvo que la mayor dureza fue de 50.475 ± 4.601 N, cuyo valor se encontró en muestras preparadas a bajas temperaturas y altas concentraciones de la fuente de fibra (figura 4). Este resultado concuerda con lo obtenido para productos extrudidos elaborados con amaranto (50.000 ± 0.000 N) (Ramos-Díaz y Jouppila, 2013). La dureza mostrada por los extrudidos analizados se atribuye al bajo índice

de expansión de tales productos, pues un contenido elevado de fibra en el cereal disminuye la expansión y por lo tanto aumenta la dureza.

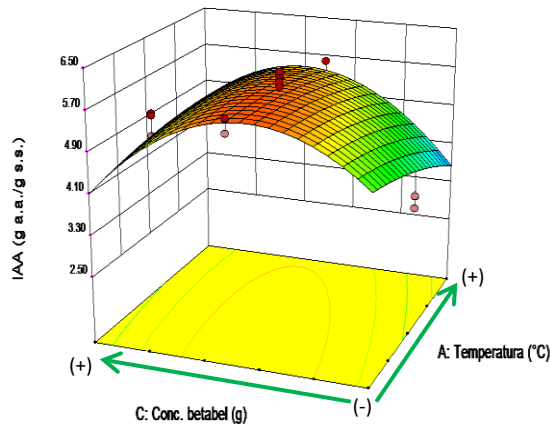


Figura 1. Índice de Absorción de Agua de los productos obtenidos por extrusión

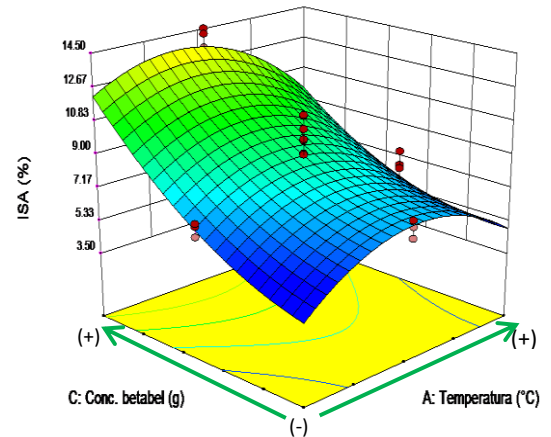


Figura 2. Índice de Solubilidad Agua de los productos obtenidos por extrusión

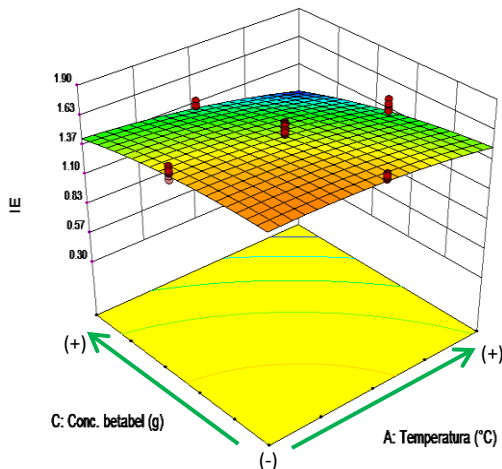


Figura 3. Índice de Expansión de los productos obtenidos por extrusión

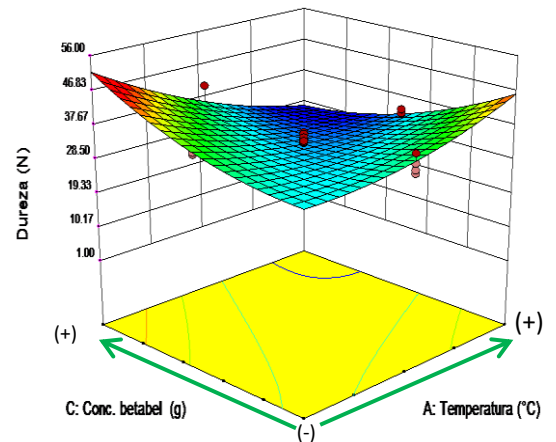


Figura 4. Dureza de los productos obtenidos por extrusión

CONCLUSIONES

Durante el proceso de elaboración de los productos extrudidos, la temperatura y la concentración de la fuente de fibra, fueron las variables que permitieron aumentar los valores de IAA e ISA.

Los contenidos de fibra presente en los extrudidos mostraron un efecto en los resultados del índice de expansión y por lo consiguiente en la dureza.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin EL. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science* 1:11-12.

- Castañeda SA. 2011. Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L). Temas selectos de Ingeniería de Alimentos 5:75-83.
- González R, Pastor CE, Vioque PJ, Torres R, De Greef D, Drago S. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grains. International Journal of Food Science 1-8.
- Gujaska E, Khan K. 1990. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Food Science 55:466-469.
- Henández-Nava RG, Bello-Pérez LA, San Martín-Martínez E, Hernández-Sánchez H, Mora-Escobedo R. 2011. Effect of extrusion cooking on the functional properties and starch components of lentil/banana blends: response surface analysis. Revista Mexicana de Ingeniería Mexicana 10:409-419.
- Ramos-Díaz J, Jouppila K. 2013. Amaranth and quinoa in extruded corn snacks: Effect of storage temperature on lipid oxidation. Inside Food Symposium Leuven, Belgium 1-6.
- Ratankumar SR, Majumdar R, Venkateshwarlu G. 2014. Optimum extrusion-cooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology. Journal of Food Science and Technology 51:1827-1836.
- Rodríguez-Miranda J, Ruiz-López II, Herman-Lara E, Martínez-Sánchez CE, Delgado-Licon E, Vivar-Vera MA. 2011. Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. LWT-Food Science and Technology 44:673-680.
- Silva GM, Matjaz T, Manfred J, Bavec M, Bavec F. 2010. Grain amaranth as an alternative and perspective crop in temperate climate. Journal for Geography 5:135-145.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, Ibanoglu S. 2010. The advantages of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten free products. Food Chemistry 121:156-164.
- Zambrano-Zaragoza ML, Gutiérrez-Cortez E, Jiménez-Vieyra ME, Cornejo-Villegas MA, Quintanar-Guerrero D. 2013. Effects of extrusion process in snacks of oats-nixtamalized corn pericarp mixtures on dietary fiber content and functional properties. CyTA-Journal of Food 11:38-45.