

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE CEREAL PIGMENTADO CON POLVO DE TUNA ROJA

Ruiz-Gutiérrez M. G.^{ab*}, Amaya-Guerra C. A.^b, Quintero-Ramos A.^a, Pérez-Carrillo E.^c, Báez-González J. G.^b, Núñez-González M. A.^b

a Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Investigación y Posgrado. Nuevo Campus Universitario, Circuito Universitario, C.P. 31125, Chihuahua, Chih., México.

b Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Investigación y Posgrado. Ciudad Universitaria, C.P. 66450, San Nicolás de los Garza, N. L., México.

c Centro de Biotecnología-FEMSA, Escuela de Biotecnología y Alimentos, Tecnológico de Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, CP 64849, Monterrey, N.L., México.

*martha.ruiz.mr@gmail.com

RESUMEN

La tuna roja posee actividad antioxidante y potencial como colorante en la industria alimentaria, sin embargo su uso puede provocar cambios fisicoquímicos en los productos que deben ser evaluados. 2.5, 5.0 y 7.5% de polvo de tuna fueron mezclados con sémola de maíz y procesados en un extrusor de doble tornillo a 22% de humedad, 100 °C y 325 rpm. Evaluando en los cereales propiedades físicas (humedad, densidad, color, textura e índices: expansión y solubilidad y absorción de agua,) y propiedades químicas (contenidos de polifenoles, betacianinas y betaxantinas, actividad antioxidante). Se encontró que la humedad y el índice de solubilidad en agua no presentaron dependencia al contenido de polvo adicionado. La densidad aumentó al incrementar el contenido de polvo, mientras que los índices de expansión y de absorción de agua disminuyeron con el incremento de polvo adicionado. El incremento en el polvo causó disminución de L^* , b^* , $croma^*$ y h^* sin embargo aumentó a^* y la textura de los cereales. Así como de los contenidos de polifenoles y betalainas y actividad antioxidante.

ABSTRACT

Red cactus pear has antioxidant activity and potential as colorant in the food industry, however the use can cause physicochemical changes of products, which should be evaluated. 2.5, 5.0 and 7.5% of red cactus pear powder were mixed with maize grits and processed on a twin-screw extruder at humidity of 22%, 100 °C and 325 rpm. Evaluating in cereals physical properties (moisture, density, color, texture and the index: expansion and water solubility and absorption) and chemical properties (polyphenols, betaxanthins, and betacyanins contents, and antioxidant activity). It was found that, the moisture and water solubility index not have dependency to the powder content added. Density increased by increasing the powder content added, while expansion and water absorption index decreased with increasing of added powder. The increases in powder added caused decreased in L^* , b^* , $croma^*$ y h^* , and increased a^* and texture of cereals. As well as, polyphenols and betalains contents and antioxidant activity in the cereals were increased with the powder content.

Palabras clave: Cereal para desayuno, pigmento natural, betalainas.

Área: Desarrollo de nuevos productos

INTRODUCCIÓN

La tuna roja (*Opuntia ficus indica*) tiene una pulpa carnosa púrpura, este color se debe a la presencia de pigmentos betalainas, las cuales se dividen en betacianinas de color rojo púrpura y betaxantinas de color amarillo-naranja, pigmentos han mostrado una gran actividad antioxidante (Castellanos and Yahia, 2008). Además de tener potencial como colorante natural en la industria alimentaria en específico para el desarrollo productos listos para consumo como es el cereal para desayuno obtenido mediante el proceso de extrusión-cocción, ya que este último proceso permite la obtención de una gran gama de productos. Polvo obtenido de tuna roja y fibra soluble puede ser utilizado para pigmentar cereal, proporcionando valor agregado al producto obtenido, presentándolo como un alimento funcional debido a su contenido de pigmentos y polifenoles, que presentan actividad antioxidante; además de fibra soluble. Sin embargo, el uso o adición de el polvo de tuna roja para la obtención de cereal puede provocar cambios físicos y químicos tanto deseable como indeseables, los cuales deben ser evaluados para evaluar su efectividad. Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar los cambios fisicoquímicos de cereal extrudido pigmentado con polvo de tuna roja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de polvo tuna roja

Se preparó una mezcla de jugo de tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) y 22.5% de fibra soluble mezclando con un homogenizador (Ultra-Turrax IKA T-18, IKA Works, Inc., Wilmington, NC) por 10 min. Las mezclas fueron deshidratadas mediante un secador por aspersión (Niro A/S DK-2860, GEA Company, Soeborg, DK) a 160/85 °C de temperatura de entrada/salida, a 4.5 bar.

Uso de polvo de tuna roja en extrusión-cocción

Se prepararon mezclas con sémola de maíz y 2.5, 5.0 y 7.5% de polvo de tuna roja, éstas mezclas se sometieron al proceso de extrusión-cocción utilizando un extrusor de doble tornillo (BCTM-30, Bühler, Suiza) con L/D=20, a una humedad de 0.22 kg de agua/kg de material alimentado, 100 °C de temperatura del cañón y 325 rpm de velocidad del tornillo.

Análisis de cereales extrudidos

Humedad. Se determinó de acuerdo al método gravimétrico de la AOAC(1998).

Densidad. Se determinó de acuerdo al método descrito por Kha *et al.*, (2010). El cereal se colocó en una probeta graduada. El valor de la densidad se calculó como la relación entre la masa (g) y el volumen ocupado en el cilindro (cm³).

Índice de expansión (IE). Se calculó de acuerdo al método empleado por Altan *et al.*, 2008. Para ello se midió la expansión seccional de 15 piezas. El índice de expansión se calculó como S_e/S_d , donde S_e y S_d son las Áreas de extrudidos y del dado, respectivamente.

Índice de solubilidad (ISA) y absorción en agua (IAA). Se determinaron de acuerdo al método descrito por Altan *et al.*, 2008. La muestra se suspende en agua (25 °C) en una relación 1:10, se agita, se centrifuga a 1000 x g por 15 min y el sobrenadante es decantado evaporado. El ISA es el peso de los sólidos secos en el sobrenadante. El IAA se calcula como el peso del sedimento obtenido después de la remoción del sobrenadante por peso de sólidos.

Color. El color se determinó usando un colorímetro Konica Minolta CR-400/410 (Minolta Co., Osaka, Japón), midiendo L^* [luminosidad; negro–blanco], a^* [verde–rojo], y b^* [azul–amarillo], determinando $croma^*$ y hue^o de acuerdo a Kha *et al.* (2010).

Textura. Se determinaron las características de dureza y crujibilidad de acuerdo al método descrito por Ding *et al.* (2005), utilizando un analizador de textura TA-XT2 (Surrey, Reino Unido) equipado con un punzón de 2 mm, utilizando 10 extrudidos.

Polifenoles totales. Se determinó en un extracto, obtenido con 2.5 g de extrudido homogenizado con metanol frío centrifugando (1000xg; 15 min; 4 °C) dos veces y concentrado al vacío, mediante la técnica espectrofotométrica de Folin-Ciocalteu (Bucić-Kojić *et al.*, 2007), usando un instrumento UV-Vis (Perkin-Elmer, MA).

Actividad antioxidante. Se determinó en los mismos extractos mediante cuantificación espectrofotométrica de la pérdida de absorbancia del radical DPPH^{*} (Kuskoski *et al.*, 2005).

Betalainas. Fue determinado en un extracto, obtenido con 2.5 g de extrudido homogenizado con agua destilada centrifugando (3600xg; 45 min; 4°C) dos veces y concentrado al vacío, mediante cuantificación fotométrica (Castellanos and Yahia, 2008) usando un instrumento UV-Vis (Perkin-Elmer, MA). Los resultados fueron obtenidos mediante: $BC [mg/g] = [A (DF)(MW) V_d / \epsilon L W_d]$, donde: A=valor a la máxima absorción en 535 y 483 nm para betacianinas y betaxantinas, respectivamente, DF=factor de dilución, MW=peso molecular y ϵ =coeficiente de absortividad molar. Datos utilizados: betacianinas [MW=550 g/mol; ϵ =60 000 L/(mol cm)] y betaxantinas [MW=308 g/mol; ϵ =48 000 L/(mol cm)], V_d =volumen de la solución (mL), W_d =peso del material seco (g), y L=longitud de la cubeta de lectura (1 cm).

Análisis de datos. Se utilizó un diseño completamente al azar, usando el programa para análisis estadístico Minitab (2010). Las diferencias de medias fueron comparadas mediante prueba de Tukey ($p < 0.05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestran parte de las propiedades físicas determinadas en los cereales. Se observa que la humedad e ISA no fueron significativamente afectados por el polvo adicionado.

El ISA no fue afectado debido a que la solubilidad en los cereales es causada por la cantidad de moléculas solubles presentes, dichas moléculas son producto de la degradación del almidón a las diferentes condiciones de extrusión, sin embargo en este

Tabla I. Propiedades físicas* de extrudidos obtenidos a diferentes concentraciones de polvo de tuna roja

Polvo (%)	Humedad (%)	Densidad (g/cm ³)	IE	ISA	IAA
0	9.4 ± 0.02 ^a	0.0804 ± 0.0011 ^d	11.6 ± 0.74 ^a	0.24 ± 0.004 ^a	6.04 ± 0.04 ^a
2.5	9.3 ± 0.03 ^a	0.1060 ± 0.0014 ^c	9.43 ± 0.77 ^b	0.24 ± 0.002 ^a	5.87 ± 0.11 ^a
5	9.3 ± 0.06 ^a	0.2100 ± 0.0010 ^b	6.18 ± 0.56 ^c	0.23 ± 0.010 ^a	5.23 ± 0.07 ^b
7.5	9.3 ± 0.01 ^a	0.3090 ± 0.0026 ^a	4.66 ± 0.21 ^d	0.23 ± 0.009 ^a	4.81 ± 0.13 ^c

*Media ± desviación estándar; Valores con letra diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$). IE = Índice de expansión; ISA = Índice de solubilidad en agua; IAA = Índice de absorción de agua

caso las condiciones de extrusión se mantuvieron fijas.

Los valores de densidad obtenidos se encuentran entre 0.08 y 0.31 g/cm³, este parámetro aumentó significativamente al incrementar el polvo de tuna, esto es debido a que al incrementar el porcentaje de polvo hay un incremento en la presencia de azúcares y fibra los cuales reemplazan el contenido de almidón (Anderson et al., 1981).

IE y IAA fueron significativamente afectadas por el porcentaje de polvo. El IE mostró valores de 4.66 a 11.6 (Tabla I), observándose que un aumento en el polvo causa una disminución en la expansión. Esta tendencia puede ser debido al efecto de dilución que causa el polvo de tuna en el almidón (Altan et al., 2008; El-Samahy et al., 2007); además cuando se tienen en la mezcla polisacáridos (no almidón), estos se hidratan y compiten con el almidón por el agua en la salida del extrusor restringiendo la gelatinización del almidón (El-Samahy et al., 2007).

Para el IAA se obtuvieron valores de 4.81 a 6.04, éste parámetro disminuyó significativamente al aumentar por el polvo de tuna, debido a la dilución del contenido de almidón. Además, la fibra soluble presente en el polvo de tuna puede competir con el almidón por el agua en la salida del extrusor, afectando la gelatinización y dextrinización del almidón, obteniendo extrudidos con menor capacidad de absorber agua (Altan et al., 2008).

En la Tabla II se muestran los parámetros de color, y se muestra como todos fueron afectados significativamente por el porcentaje de polvo adicionado. El incremento en el polvo causó disminución de los parámetros L^* , b^* , Croma^* y h° .

Tabla II. Color* de cereales obtenidos a diferentes concentraciones de polvo de tuna roja

Polvo (%)	L^*	a^*	b^*	Croma^*	h°
0	89.57 ± 0.42 ^a	-3.78 ± 0.04 ^d	52.85 ± 0.26 ^a		
2.5	76.63 ± 2.25 ^b	15.36 ± 2.30 ^c	36.51 ± 1.17 ^b	52.99 ± 0.26 ^a 39.67 ± 0.38 ^b	85.91 ± 0.03 ^a 67.18 ± 3.69 ^b
5.0	67.63 ± 0.88 ^c	27.27 ± 0.46 ^b	25.77 ± 0.34 ^c	37.52 ± 0.55 ^c 39.04 ± 1.01 ^b	43.38 ± 0.25 ^c 34.15 ± 0.53 ^d
7.5	61.32 ± 1.03 ^d	32.30 ± 0.69 ^a	21.92 ± 0.82 ^d		

*Media ± desviación estándar; Valores con letra diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

b^* mostró valores de 21.92 a 52.85, este último fue disminuyendo con la adición de polvo, debido a la dilución del color amarillo de la sémola utilizada y a la reducción de componentes que presentan colores amarillo-naranja (betaxantinas y polifenoles) por efecto de la extrusión-cocción (Tabla IV). En h^* , se observa que en el cereal sin polvo presenta valores cercanos a amarillo (90°), mientras que con la adición del polvo h^* tendió a rojo (45°). Por otra parte, a^* fue incrementado con el aumento en el porcentaje de polvo de tuna en la mezcla, el polvo adicionado tiene alto contenido de betalainas, las cuales presentan colores rojo-púrpura.

Tabla III. Textura* de cereales con diferentes contenidos de polvo de tuna roja

Polvo de tuna (%)	Dureza (N)	Crujibilidad (N·mm)
0	9.81 ± 2.13 ^d	30.97 ± 5.75 ^d
2.5	17.10 ± 3.46 ^c	59.85 ± 7.58 ^c
5	37.51 ± 5.26 ^b	151.27 ± 5.87 ^b
7.5	59.47 ± 8.64 ^a	213.44 ± 19.89 ^a

*Media ± desviación estándar; Valores con letra diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Ladureza presentó valores de 9.81 a 59.47 N, mientras que la crujibilidad mostró valores de 30.97 a 213.44 N·mm. En la Tabla III se observa como la adición de polvo provocó aumento la dureza y en la crujibilidad, esto puede ser debido a que al incrementar el porcentaje de polvo la fibra también aumentó, lo cual impacta obteniéndose cereales más densos y menos expandidos (Tabla I). Debido a que la fibra compite con el almidón por el agua en la salida del extrusor restringiendo la gelatinización y dextrinización del almidón permitiendo cereales más compactos (El-Samahy *et al.*, 2007), derivando más duras y crujientes.

Las propiedades químicas determinadas se muestra en la Tabla IV, se observa que un incremento en el porcentaje de polvo de tuna, condujo a un incremento en el contenido de polifenoles y betalinas, además de la actividad antioxidante.

Tabla IV. Análisis químico* de cereales utilizando diferentes porcentajes de polvo de tuna roja

Polvo de tuna (%)	PT (EAG/100 g)	AA ($\mu\text{mol/g}$)	BC (mg/100g)	BX (mg/100g)
0	0.7515 \pm 0.01 ^d	2.638 \pm 0.17 ^d	nd	nd
2.5	1.0381 \pm 0.02 ^c	3.962 \pm 0.02 ^c	0.8430 \pm 0.01 ^c	0.4993 \pm 0.07 ^c
5.0	1.6119 \pm 0.02 ^b	6.084 \pm 0.09 ^b	2.5364 \pm 0.86 ^b	1.3521 \pm 0.04 ^b
7.5	2.3091 \pm 0.08 ^a	7.398 \pm 0.46 ^a	4.1845 \pm 0.12 ^a	2.1287 \pm 0.06 ^a

*Media \pm desviación estándar; Valores con letra diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

BIBLIOGRAFÍA

- Altan, A.; McCarthy, K. L.; Maskan, M. 2009. Effect of Extrusion Cooking on Functional Properties and in vitro Starch Digestibility of Barley-Based Extrudates from Fruit and Vegetable By-Products. *Food Engineering and Physical Properties* doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01051.x.
- Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin EL. 1969. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today* 14: 4-7.
- AOAC. 1998. Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analytical Chemists. Maryland, USA.
- Bucić-Kojić A, Planinić M, Tomas S, Bilić M, Velić D. 2007. Study of solid-liquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds. *J. Food Eng.* 81: 236-242.
- Castellanos-Santiago E, Yahia EM. 2008. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agr. Food Chem.* 56: 5758–5764.

- Ding QB, Ainsworth P, Tucker G, Marson H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering* 66: 283–289.
- El-Samahy, S.K., E.A. El-Hady, A., R.A. Habiba, T.E. Moussa-Ayoub, 2007. Some functional, chemical, and sensory characteristics of cactus pear rice-based extrudates. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.*, 9: 136-147.
- Galati EM, Mondello MR, Giuffrida D, Dugo G, Miceli M, Pergolizzi S, Taviano MF. 2003. Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Fruit Juice: Antioxidant and Antiulcerogenic Activity. *J. Agr. Food Chem.* 51: 4903-4908.
- Kha TC, Nguyen MH, Roach PD. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *J. Food Eng.* 98: 385-392.
- Kuskoski EM, Asuero AG, Troncoso AM, Mancini-Filho J, Fett R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *J. Food* 25 (4): 726-732.
- Minitab 16. 2010. Statistical Software, Minitab, Inc., State College, PA.