

## Botana de maíz y residuos de cáliz de Jamaica: optimización de proceso

---

Víctor Manuel Rivera-Castro<sup>1</sup>

Roberto Gutiérrez-Dorado<sup>2</sup>

Erick Paul Gutiérrez-Grijalva<sup>1</sup>

José Basilio Heredia<sup>1</sup>

María Dolores Muy-Rangel<sup>1,5</sup>

1 Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC-Coordinación Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80015. (vrivera2019@gmail.com; erick.gutierrez@ciad.mx; jbheredia@ciad.mx).

2 Programa de Posgrado Integral en Biotecnología-Facultad de Ciencias Químico-Biológicas-Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80015. (rgutierrez@uas.edu.mx).

Autora para correspondencia: mdmuy@ciad.mx.

---

### Resumen

Los residuos de decocción cáliz de Jamaica, ricos en fibra y compuestos bioactivos, ofrecen oportunidades en la elaboración de alimentos. Este estudio buscó desarrollar una botana directamente expandida con mezcla de maíz y residuos de decocción cáliz de Jamaica, optimizando sus cualidades físicas. Se realizó en el año 2023, empleando la metodología de superficie de respuesta con tres factores y tres respuestas. La botana directamente expandida, mostraron valores de índice de expansión entre 1.75 a 2.64, densidad aparente de 0.15 a 0.38 g cm<sup>-3</sup> y firmeza de 6.8 a 19.6 N, con tonalidades morado-lila atractivas. Los modelos de regresión fueron adecuados y mediante el método de deseabilidad, se determinaron condiciones óptimas (TS= 132.3 °C, VT= 240 rpm) y nivel de inclusión de Jamaica (J= 12.4%) para una botana directamente expandida optimizada. Se concluyó que la inclusión de hasta un 12.4% de cáliz de Jamaica permitió obtener botanas con excelentes características físicas.

### Palabras clave:

*Hibiscus sabdariffa* L., *Zea mays* L., bocadillo, metodología de superficie de respuesta, parámetros físicos.

---



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

## Introducción

México lidera la producción de jamaica en América, destacando el cáliz seco de la fruta en la elaboración de concentrados y decocciones (SIAP, 2023). Los residuos de decocción (RDC) de jamaica, derivados de procesos de extracción, contienen hasta el 80% de fibra dietética, ofreciendo un potencial significativo (Sáyago-Ayerdi et al., 2013).

Una alternativa para aprovechar los RDC de jamaica es la producción de botanas directamente expandidas (BDE), consumidas como aperitivos. Estas ganan popularidad por su facilidad de consumo, fabricadas mediante un proceso de expansión que implica baja humedad, calor, presión e interacciones proteína-carbohidrato; siendo la extrusión el método más empleado (Félix-Medina et al., 2020).

El mercado de botanas está en constante crecimiento, alcanzando un valor global de 538 mil millones de dólares en 2022, con México contribuyendo con 11.96 mil millones de dólares y un consumo per cápita superior a los 13 kg (Statista, 2023); por lo tanto, elaborar productos con estas características resulta atractivo.

El consumo de BDE está asociado a productos ricos en carbohidratos y grasas, con baja densidad nutricional y problemas digestivos debido a la falta de fibra y un alto índice glicémico (>70) (Calvo-López y Martínez-Bustos, 2017). El crecimiento en la producción y la demanda de opciones saludables ha impulsado la búsqueda de ingredientes que aumenten el valor nutricional, destacando la fibra (Gopirajah y Muthukumarappan, 2017).

Parámetros clave para la aceptación de BDE incluyen el índice de expansión, densidad aparente y firmeza, determinantes en la calidad sensorial. La expansión es crucial por sus efectos en la estructura y ruptura de burbujas; la densidad influye en la textura, buscando una menor densidad y la firmeza, relacionada con la fuerza de corte, disminuye con el aumento de burbujas (Moraru y Kokini, 2003; Meng et al., 2010).

En la producción comercial de BDE, el almidón de maíz es común, pero carece de aporte nutricional. Por ello, se investiga el uso de harinas integrales de cereales, como el maíz morado, rico en polifenoles, proteínas y fibra (Urias-Lugo et al., 2014). Aunque las BDE con harinas integrales muestran menor expansión, ajustar las condiciones de extrusión es esencial (Han et al., 2018). La optimización mediante la metodología de superficie de respuesta se presenta como la estrategia más efectiva.

Este estudio busca evaluar la incorporación de harina de RDC de jamaica a harina de maíz morado. Utilizando la metodología de superficie de respuesta, pretende determinar las condiciones óptimas de temperatura y velocidad de tornillo del extrusor, así como el nivel óptimo de inclusión de jamaica para lograr BDE con características físicas ideales.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se utilizaron granos de maíz morado variedad olotillo (17° 07' 49.3" latitud norte, 99° 07' 18.15" longitud oeste) y cálices de jamaica variedad criolla (16° 58' 46.2" latitud norte, 99° 06' 53.9" longitud oeste), recolectadas en municipio de Ayutla de los Libres, Guerrero. Los cálices de jamaica se prepararon de acuerdo a lo mencionado por Mayo-Mayo et al. (2020), los cálices de decocción se deshidrataron a 40 °C por 48 h, los cálices secos se molieron en un molino de café modelo F20342 (KRUPS North America Inc.), hasta un tamaño de partícula  $\leq 0.38$  mm.

Para el caso de los granos de maíz, estos se limpiaron de manera manual removiendo granos en mal estado y basura, posteriormente se molieron en un molino de semillas eléctrico modelo 1000A (LEJIEYIN, China) hasta un tamaño de partícula  $\leq 0.38$  mm. Ambas muestras se almacenaron en refrigeración (4 °C) hasta su uso. Previo al proceso de extrusión, las mezclas de maíz-jamaica se acondicionaron a una humedad de 15%.

## Condiciones de extrusión

Para preparar las botanas directamente expandidas (BDE) se utilizó un extrusor de tornillo simple de laboratorio modelo 20DN (CW Brabender Instruments, Inc. Nueva Jersey, EE. UU.), equipado con tornillo de 19 mm de diámetro, longitud 20:1, relación de compresión del tornillo 3:1, dado de salida 3 mm y un flujo de alimentación de 30 kg h.

El equipo cuenta con tres zonas de calentamiento, ajustadas con un gradiente de 20 °C entre cada sección. En el Cuadro 1 se indican las diferentes temperaturas de salida (TS) del extrusor, así como las velocidades de tornillo (VT) y el contenido de inclusión de cáliz de jamaica (J), que se utilizaron para obtener las diferentes BDE de acuerdo con el diseño experimental. Posteriormente, las BDE se cortaron en piezas de 5 cm y se colocaron en una estufa de aire forzado a 60 °C por 30 min.

**Cuadro 1. Diseño y resultados experimentales de las variables de respuesta analizadas a las botanas directamente expandidas por extrusión.**

Corrida <sup>*</sup>	Variables de proceso						Variables de respuesta		
	Valores codificados			Valores no codificados			IE	DA	F
	X1	X2	X3	TS	VT	J			
1	-1	-1	-1	130	104	3.43	2.21	0.33	19.62
2	1	-1	-1	160	104	3.43	2.28	0.17	11.56
3	-1	1	-1	130	206	3.43	2.64	0.15	10.35
4	1	1	-1	160	206	3.43	2.49	0.21	13.27
5	-1	-1	1	130	104	12.06	2.04	0.38	17.35
6	1	-1	1	160	104	12.06	1.75	0.23	6.81
7	-1	1	1	130	206	12.06	2.08	0.21	8.99
8	1	1	1	160	206	12.06	2.02	0.22	7.29
9	-1.682	0	0	120	155	7.75	2.2	0.25	16.73
10	1.682	0	0	170	155	7.75	1.89	0.18	7.45
11	0	-1.682	0	145	70	7.75	1.99	0.3	16.27
12	0	1.682	0	145	240	7.75	2.27	0.21	11.38
13	0	0	-1.682	145	155	0.5	2.52	0.18	12.7
14	0	0	1.682	145	155	15	1.83	0.24	8.66
15	0	0	0	145	155	7.75	2.25	0.23	14.68
16	0	0	0	145	155	7.75	2.41	0.22	14.04
17	0	0	0	145	155	7.75	2.33	0.23	14.6
18	0	0	0	145	155	7.75	2.33	0.19	13.48
19	0	0	0	145	155	7.75	2.33	0.21	14.6
20	0	0	0	145	155	7.75	2.32	0.24	14.77

\* = no corresponde al orden de corrida; TS= temperatura de salida (°C); VT= velocidad de tornillo (rpm); J= nivel de inclusión de jamaica en la botana (% p/p); IE= índice de expansión; DA= densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>); F= firmeza (N).

## Índice de expansión (IE) y densidad aparente (DA)

A las BDE (10 piezas) se les midió el largo (cm), el diámetro (cm) promedio de tres secciones (puntas y centro) y el peso (g). El IE se calculó con la ecuación 1 y la DA con la ecuación 2 (Espinoza-Moreno *et al.*, 2016):

$$IE = \frac{\text{Diámetro promedio de la BDE}}{\text{diámetro de salida}}$$

ecuación 1.

$$DA(\text{g cm}^{-3}) = \frac{\text{Peso BDE}}{\pi(\text{Radio BDE})^2 \text{Largo BDE}}$$

ecuación 2.

## Firmeza

Para cuantificar la firmeza (Newtons) se utilizaron 50 BDE, un texturómetro Modelo TA1 (AMETEK, Knightdale, North Carolina, EE.UU.), una celda de 500 N y una punta de corte de 2 mm de diámetro, velocidad de penetración de 10 mm min<sup>-1</sup> hasta un 60% del diámetro de la botana (Anton y Luciano, 2007).

## Color

Se realizaron tres mediciones a las BDE (10 por tratamiento) sobre un fondo blanco, con un colorímetro modelo CM700d (Konica Minolta, EE. UU.). Se reportaron los valores de luminosidad (L), cromaticidad (C) y ángulo de matiz o color verdadero (°H).

## Metodología de superficie de respuesta y optimización

Se empleó un diseño experimental de superficie de respuesta con tres factores: temperatura de salida (TS), velocidad de tornillo (VT) y porcentaje de inclusión de jamaica en la mezcla (J). Se utilizó el programa Design Expert 13, el cual generó 20 corridas experimentales (Cuadro 1). Las variables del proceso abarcaron TS entre 120-170 °C y VT entre 70-240 rpm, mientras que J osciló entre 0.5-15%. Las respuestas evaluadas fueron el índice de expansión (IE), densidad aparente (DA) y firmeza (F) de las BDE.

Se usó un diseño experimental central compuesto rotatable con 20 experimentos realizados en orden aleatorio. Los tratamientos se ejecutaron una sola vez, excluyendo la media y la desviación estándar (Espinoza-Moreno *et al.*, 2016). El análisis estadístico incluyó regresión por mínimos cuadrados y análisis de varianza para ajustar modelos de regresión de segundo orden a los datos experimentales de variables de respuesta.

Para el proceso de optimización se utilizó el método numérico de deseabilidad de la MSR, tratando de encontrar una deseabilidad (D) mayor a 0.7, se buscó maximizar la variable J y el IE y minimizar la DA y F. Adicionalmente, se generaron gráficas de superficie y contornos para analizar el efecto de las variables del proceso de extrusión y el nivel de inclusión de jamaica sobre las propiedades físicas (IE, DA, F) de las BDE.

## Resultados y discusión

### Modelado de variables respuesta

En el Cuadro 1 se observan los resultados experimentales de las variables de respuesta estudiadas. Las BDE presentaron valores de IE entre 1.75 a 2.64, DA entre 0.15 y 0.38 g cm<sup>-3</sup> y F entre 6.81 y 19.62 N. A pesar de los desafíos señalados por Han *et al.* (2018) sobre el uso de fuentes ricas en fibra, como los RDC de cálices de jamaica, en la elaboración de BDE, nuestros resultados mostraron altos valores experimentales de expansión y baja densidad y firmeza. A diferencia de las preocupaciones sobre la competencia entre la fibra y el almidón por el agua, nuestras BDE demostraron resultados positivos en la formación de burbujas y propiedades finales.

Los resultados estadísticos del análisis de regresión y varianza de los datos de las variables de respuesta DA, IE y F se presentan como modelos predictivos en factores codificados (ecuaciones 3-5). Todos los modelos de regresión fueron significativos con valores  $p \leq 0.0001$ . De manera general, se observó que dichos modelos de regresión presentaron una  $R^2_{\text{adj}}$  de 82 a 97%.

"E=-4.068+0.093 (TS)+0.002(VT)-0.049 (J)"-0.0003(TS)<sup>2</sup> ecuación 3, (valor- $p$  del modelo <0.0001;  $R^2_{\text{adj}}$ = 0.822). DA=1.976-0.012(TS)0.010(VT)+0.005(J)+0.00006(TS\*VT)

ecuación 4, (Valor- $p$  del modelo  $<0.0001$ ;  $R^2_{adj} = 0.859$ ).  
 $F = 22.615 + 0.504(TS) - 0.513(VT) + 2.743(J) + 0.003(TS \cdot VT) - 0.014(TS \cdot J) - 0.004(S)^2 + 0.071(J)^2$   
 ecuación 5, (Valor- $p$  del modelo  $<0.0001$ ;  $R^2_{adj} = 0.9633$ ).

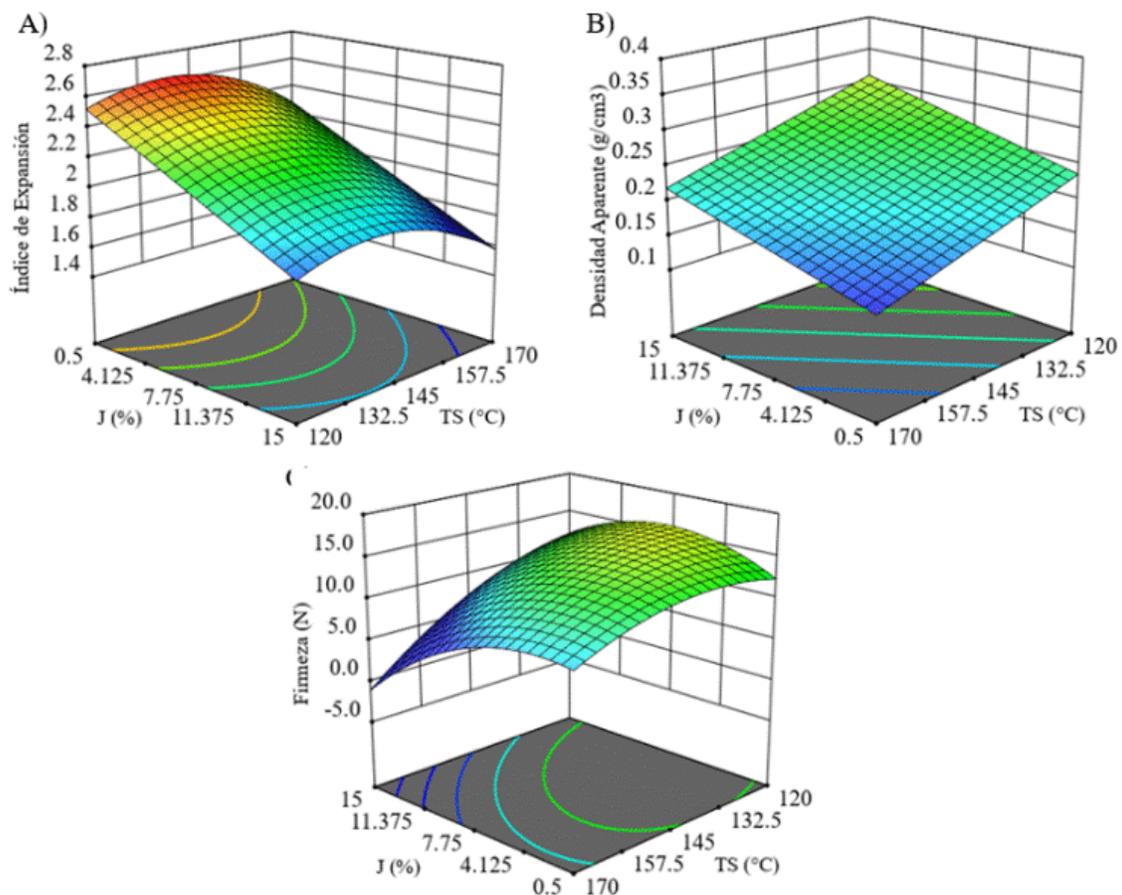
Los modelos de regresión no mostraron falta de ajuste ( $p > 0.05$ ), además, en todas las respuestas de las BDE, los términos lineales fueron significativos ( $p \neq 0.1$ ). IE y F demostraron significancia en los términos cuadráticos ( $TS \cdot TS$  y  $J \cdot J$ ). Además, interacciones significativas fueron observadas en DA y F ( $TS \cdot VT$  y  $TS \cdot J$  solo para F).

## Análisis de variables de respuesta

### Índice de expansión (IE)

Al ser el IE uno de los atributos claves se espera que estos valores sean mayores a 1.5 (Huber 2001). La Figura 1A muestra el comportamiento del IE. Donde los valores son mayores a TS entre 130 y 145 °C, con una J cercana al 0.5%. Este fenómeno se atribuyó al contenido de jamaica, el cual aporta más fibra, inhibiendo la expansión debido a rupturas en las paredes celulares y menor contenido de almidón (Han *et al.*, 2018).

Figura 1. Gráficas de superficie de respuesta en 3D de las diferentes variables de respuesta estudiadas a las BDE en función de las variables TS y J, a una VT constante de 155 rpm.



El estudio de Huber (2001) señala que con una mayor VT, se genera mayor presión en el barril y dado, los que crea un diferencial de presión que favorece la expansión de la botana, independientemente de la composición de la matriz alimenticia. La baja humedad en la mezcla maíz-jamaica favoreció la distribución de humedad en los gránulos de almidón y mejoró las propiedades viscoelásticas y de cizallamiento de la mezcla (Anderson, 1969).

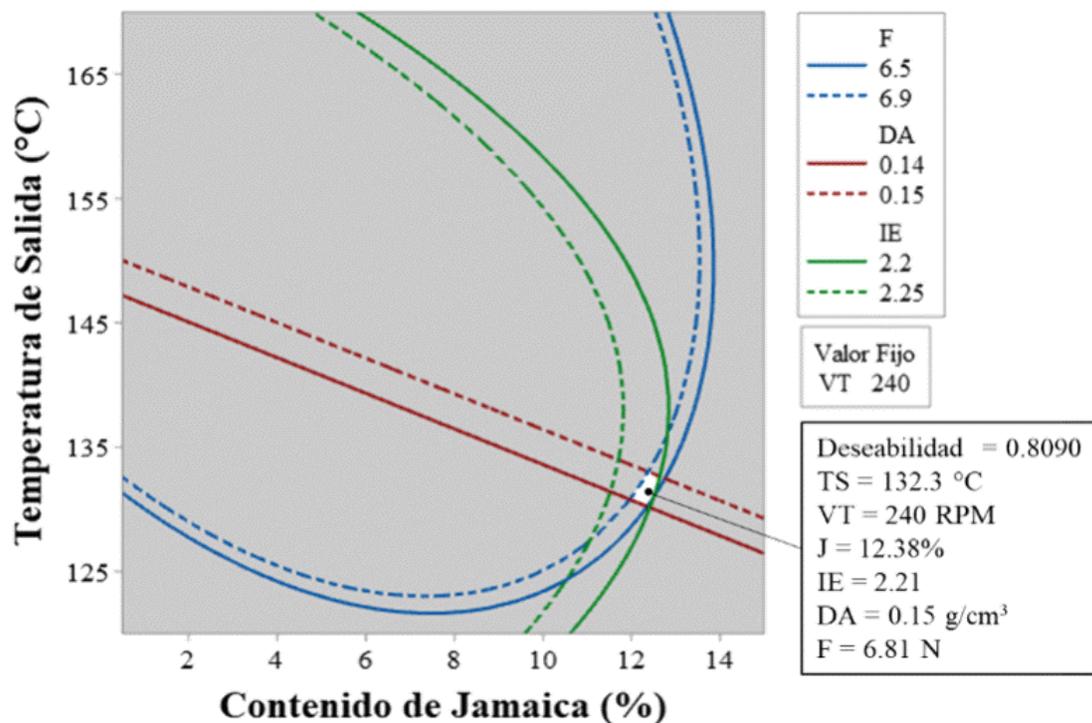
Resultados similares a este estudio son respaldados por Rivera-Mirón *et al.* (2020), quienes evaluaron la inclusión de pulpa de piña en una BDE de maíz, donde observaron que, a mayor contenido de pulpa de piña, el IE disminuía debido al contenido de fibra. Con condiciones de TS de 150 °C, VT de 200 rpm y 15% de pulpa de piña, obtuvieron la mayor expansión (1.86), inferior al máximo reportado en este estudio (2.64).

## Densidad aparente (DA)

La DA es inversamente proporcional al IE, refleja el grado de expansión de las botanas. Durante la expansión, la rápida evaporación del agua genera burbujas estables y grandes, reduciendo así la densidad aparente en los productos (Huber, 2001).

En la representación gráfica del modelo para DA, Figura 1B, se evidencia el efecto de TS y J, destacando altos valores de DA a VT de 155 rpm, con TS baja y alto contenido de jamaica (J). O'Shea *et al.* (2013) mencionan que las altas temperaturas y presiones en el barril del equipo facilitan la rápida expansión al salir el producto por el dado, esto se corroboró con los resultados del modelo y la Figura 2.

Figura 2. Gráfico mostrando la deseabilidad global (D), condiciones óptimas del proceso de extrusión y el contenido óptimo de jamaica en la BDE.



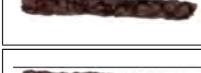
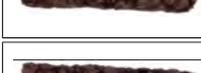
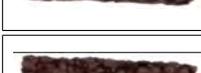
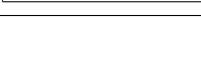
## Firmeza (fuerza de corte)

En la Figura 1C, a VT de 155 rpm, se evidencia una interacción entre las variables de proceso TS y J. Valores bajos de TS y J resultan en altos valores de F, mientras altas cantidades de ambos indican baja firmeza en las BDE. Esto señala que mayores porcentajes de jamaica favorecen la disminución de la firmeza, este fenómeno puede deberse al contenido de fibra que aporta la jamaica, permitiendo una mayor retención de humedad y mejora las interacciones entre los componentes (Han *et al.*, 2018). Chinellato *et al.* (2016) indicaron que la adición de polvo de cálcido de jamaica redujo la dureza de BDE de tapioca. En este estudio se observó una relación inversa entre la F y J (Cuadro 1).

## Color de las botanas

El Cuadro 2 presenta los resultados del color de las botanas. En general, las botanas exhibieron una L entre 31.9-52.5, C variable entre 9.7-16.9 y °H que osciló entre 13-47.9. Según el círculo de color de Minolta (1994), los valores de color de las botanas se encuentran en el rango rojo-azul característico de sus pigmentos naturales. La falta de un patrón general en las variables de color puede deberse a la riqueza en fenoles de ambas mezclas, que podrían experimentar cambios similares, especialmente debido a la temperatura de salida del extrusor. La variabilidad del color entre las botanas puede atribuirse al efecto variable del haz de luz, influenciado por sus características morfológicas debido a la expansión (Cid-Ortega y Guerrero-Beltrán, 2015).

**Cuadro 2. Coordenadas de color, diámetro y foto de botanas directamente expandidas (BDE) preparadas según las corridas del diseño experimental MSR.**

Corrida	Coordenadas			Diámetro (mm)	BDE
	Luminosidad (L)	Cromaticidad (C)	°Hue (°H)		
1	37.3 ±4.8	12.8 ±2.2	26.3 ±5.5	5.76	
2	46.1 ±3.5	11.1 ±1	33.3 ±5.7	6.83	
3	43.1 ±4.4	11.2 ±0.9	28 ± .3	7.91	
4	41.9 ±3.5	12.2 ±1.7	24.9 ±9.5	7.47	
5	31.4 ±4.9	10.2 ±2.1	22.4 ±6.3	6.13	
6	48.3 ±4.7	12.3 ±2.1	32.8 ±8.2	5.25	
7	38.6 ±2.2	17 ±1.2	13±1	6.23	
8	47.2 ±2.6	13.2 ±0.6	19.3 ±4.8	6.06	
9	40.4 ±4.3	13.8 ±1.5	18.1 ±2.4	6.6	
10	50.7 ±1.9	12.2 ±0.9	40.6 ±5.7	5.67	
11	42.0 ± 2.9	13.4 ±1.2	26.4 ±3.7	5.96	

Corrida	Coordenadas			Diámetro (mm)	BDE
	Luminosidad (L)	Cromaticidad (C)	°Hue (°H)		
12	39.4 ±2.9	13.2 ±0.8	24.5 ±2.5	6.8	
13	52.5 ±2.9	9.7 ±1	44.6 ±7.8	7.57	
14	37.2 ±2.5	15.3 ±1.5	18.5 ±1.3	5.5	
15	39.8 ±3.6	13.3 ±1.2	24.8 ±3.6	6.74	
16	45.4 ±2.6	13.3 ±0.7	20.2 ±2.2	7.24	
17	45.3 ±2.6	13.5 ±0.7	20.3 ±2.6	6.4	
18	41.4 ±2	14.2 ±1.4	19 ±2.5	7	
19	40 ±3.3	12.7 ±1	27 ±2.6	6.98	
20	38.6 ±4.4	13.9 ±1.4	21.3 ±5.8	9.65	

Los hallazgos de Mayo-Mayo *et al.* (2020) incorporaron cáliz de jamaica en chips de maíz, obteniendo un ángulo de matiz de 10, indicando colores cercanos al morado, resaltando sus atributos sensoriales y aceptación general gracias al distintivo color de la jamaica, estos autores mencionan que la demanda actual por alimentos naturales y colores vibrantes ha aumentado, destacando frutas y hortalizas ricas en pigmentos intensos como la jamaica.

## Optimización

En esta investigación, la optimización se centró en maximizar IE y J, y minimizar DA y F de las BDE. La deseabilidad global (D) alcanzó 0.809 (Figura 2), considerada buena para alimentos, ya que valores superiores a 0.7 son clasificados como aceptables por los consumidores (Fabila-Carrera, 1998). En la Figura 2, una zona blanca muestra las condiciones óptimas de proceso (TS= 132.3 °C, VT= 240 rpm y J= 12.38%) para obtener una BDE con un IE= 2.21, DA= 0.15 g cm<sup>-3</sup> y firmeza= 6.81 N.

El estudio de Rivera-Mirón *et al.* (2020) reportaron una D de 0.739, para condiciones de TS de 165 °C, 15% de pulpa de piña en BDE de harina de maíz acondicionada a 23.04% humedad y una VT de 200 rpm, las BDE presentaron un IE de 1.53 y DA de 4.01 g cm<sup>-3</sup>.

Por otra parte, Pensamiento-Niño *et al.* (2018) evaluaron la adición de pulpa de mango en una botana de almidón de yuca, obteniendo valores óptimos para TS= 135.81 °C, 7.97% de pulpa de mango, humedad de 18.84%, y VT de 100 rpm. Con una D de 0.772, lograron una BDE con un IE de 1.52 y DA de 0.66 g cm<sup>-3</sup>, se puede observar que en ambos casos y en este estudio, fue factible lograr BDE con al menos los valores de IE mínimos requeridos para alimentos expandidos (Huber, 2001).

## Conclusiones

Este estudio se centró en hallar las condiciones óptimas para la elaboración de botanas directamente expandidas (BDE) de maíz morado con harina de RDC de cáliz de jamaica. Las condiciones ideales fueron TS de 132.3 °C, VT de 240 rpm y nivel de inclusión de RDC de cáliz

de jamaica de 12.4%, con una deseabilidad global superior a 0.8. Se predijeron valores de IE, DA y F de las BDE de 2.21, 0.15 g cm<sup>-3</sup> y 6.81 N, respectivamente, presentando un atractivo color morado-lila.

## Bibliografía

- 1 Anton, A. A. and Luciano, F. B. 2007. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 5(4):245-251. Doi:10.1080/11358120709487697.
- 2 Calvo-López, A. D. and Martínez-Bustos, F. 2017. Optimization of extrusion process of directly expanded snacks based on potato starch in a single step for the formation of type IV resistant starch. *Plant Foods for Human Nutrition*. 72(3):243-249. Doi: 10.1007/s11130-0170623-4.
- 3 Cid-Ortega, S. and Guerrero-Beltrán, J. A. 2015. Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*), an alternative to the food and beverages industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 52(11):6859-6869. Doi: 10.1007/s13197-015-1800-9
- 4 Espinoza-Moreno, R. J.; Reyes-Moreno, C.; Milán-Carrillo, J.; López-Valenzuela, J. A.; Paredes-López, O. and Gutiérrez-Dorado, R. 2016. Healthy ready to eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and black common bean. *Plant Foods for Human Nutrition* . 71(2):218-224. Doi: 10.1007/s11130016-0551-8.
- 5 Fabila-Carrera, G. 1998. Diseño y análisis de experimentos industriales. México, DF. Universidad Iberoamericana. 19-29 pp.
- 6 Félix-Medina, J. V.; Montes-Ávila, J.; Reyes-Moreno, C.; Perales-Sánchez, J. K.; Gómez-Favela, M. A.; Aguilar-Palazuelos, E. and Gutiérrez-Dorado, R. 2020. Second generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT*. 124(1):1-9. Doi:10.1016/j.lwt.2020.109172.
- 7 Gopirajah, R. and Muthukumarappan, K. 2017. Effect of extrusion process conditions on the physical properties of tef oat healthy snack extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 42(3):1-9. Doi:10.1111/jfpp.13559.
- 8 Han, Y. J.; Tra, T. T. and Man Le, V. V. 2018. Corn snack with high fiber content: effects of different fiber types on the product quality. *LWT* . 96(1):1-6. Doi:10.1016/j.lwt.2018.05.014.
- 9 Huber, G. 2001. Snack foods cooking extruders. *Snack foods processing*. Pennsylvania: Technomic Publishing. 315-368 pp.
- 10 Mayo-Mayo, G.; Navarrete-García, A.; Maldonado-Astudillo, Y. I.; Jiménez-Hernández, J.; Santiago-Ramos, D.; Arámbula-Villa, G.; Álvarez Fitz, P.; Ramírez, M. and Salazar, R. 2020. Addition of roselle and mango peel powder in tortilla chips: a strategy for increasing their functionality. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 14(3):1511-1519. Doi: 10.1007/s11694-02000400-9.
- 11 Meng, X.; Threinen, D.; Hansen, M. and Driedger, D. 2010. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*. 43(2):650-658. Doi:10.1016/j.foodres.2009.07.016
- 12 Minolta. 1994. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. Tokyo, Japan. 36-37 pp.
- 13 Moraru, C. I. and Kokini, J. L. 2003. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*. 2(4):147-65. doi:10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x.

- 14 O'Shea, N.; Arendt, E. and Gallagher, E. 2013. Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food and Bioprocess Technology*. 7(6):1767-1782. Doi:10.1007/s11947-013-1181-x.
- 15 Pensamiento-Niño, C. A.; Gómez-Aldapa, C. A.; Hernández-Santos, B.; Juárez-Barrientos, J. M.; Herman-Lara, E.; Martínez-Sánchez, C. E.; Torruco-Uco, J. G. and Rodríguez-Miranda, J. 2018. Optimization and characterization of an extruded snack based on taro flour (*Colocasia esculenta* L.) enriched with mango pulp (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Science and Technology* . 55(1):4244-4255. Doi: 10.1007/s13197-018-3363-z.
- 16 Rivera#Mirón, M. I.; Torruco#Uco, J. G.; Carmona#García, R. and Rodríguez#Miranda, J. 2020. Optimization of an extrusion process for the development of a fiber#rich, ready#to#eat snack from pineapple by#products and sweet whey protein based on corn starch. *Journal of Food Process Engineering*. 43(11):1-12. Doi:10.1111/jfpe.13532
- 17 Sáyago-Ayerdi, S. G.; Velázquez-López, C.; Montalvo-González, E. and Goñi, I. 2013. By-product from decoction process of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces as a source of polyphenols and dietary fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(5):898-904. Doi:10.1002/jsfa.6333.
- 18 SIAP. 2023. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 19 Statista. 2023. Snack food. Confectionery and Snacks Mexico. Mexico.
- 20 Urías-Lugo, D. A.; Heredia, J. B.; Serna-Saldivar, S. O.; Muy-Rangel, M. D. and Valdez-Torres, J. B. 2014. Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA Journal of Food*. 13(3):336-339. doi:10.1080/19476337.2014.980324.



## Botana de maíz y residuos de cáliz de Jamaica: optimización de proceso

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2024
Date accepted: 01 April 2024
Publication date: 01 May 2024
Publication date: Apr-May 2024
Volume: 15
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3666
DOI: 10.29312/remexca.v15i3.3666

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras claves:

**Palabras claves:**

*Hibiscus sabdariffa* L.

*Zea mays* L.

bocadillo

metodología de superficie de respuesta

parámetros físicos

### Counts

Figures: 22

Tables: 2

Equations: 2

References: 20

Pages: 0