

# **EFECTO DE EXTRUSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN BOTANAS DE TERCERA GENERACIÓN ENRIQUECIDAS CON PROTEÍNA VEGETAL**

---

The Effect of Extrusion on the Physicochemical Properties of third generation  
snacks enriched with vegetal protein

L. M. Ávalos-Esparza, M. Gaytán-Martínez, M. de la L. Reyes-Vega,  
E. Morales-Sánchez, M. Contreras-Padilla, J. O. Valencia-Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia  
monthse\_10@hotmail.com

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto del las variables de procesamiento de extrusión como temperatura de la zona A y de la zona B del extrusor (80-120 °C), contenido de humedad (50-55%) y contenido de garbanzo (25-25%), sobre las propiedades fisicoquímicas de extrudidos con proteína vegetal como índice de expansión, densidad aparente y dureza, a través del uso de un diseño factorial fraccionado. Se observó que hubo efecto de todas las variables sobre las propiedades fisicoquímicas de los extrudidos y se encontró que, para el índice de expansión, las mejores condiciones de procesamiento fueron 100 °C en la zona A, 110 °C en la zona B, 60% de humedad y 25% de garbanzo, mientras que, para la densidad aparente, las mejores condiciones de procesamiento fueron 100 °C en la zona A, 110 °C en la zona B, 50% de humedad y 25% de garbanzo. La textura se vio afectada por la temperatura, humedad y cantidad de garbanzo. Las características deseables como alta expansión, baja densidad aparente y dureza se obtuvieron a altas temperaturas de procesamiento, alta humedad y baja concentración de garbanzo. El experimento factorial fraccionado permitió reducir el tamaño del experimento para posteriores investigaciones.

**Palabras clave:** diseño e innovación, extrusión, botanas, tercera generación, trigo, garbanzo

## ABSTRACT

In this research, the effect of extrusion processing variables, (temperature of zone A and zone B of the extruder, (80-120 °C), moisture content (50-55%) and chickpea content (25-25%), on the physicochemical properties of extruded products with vegetable protein were evaluated, (expansion index, bulk density and hardness), using a fractional factorial design. It was observed that there was an effect of all the variables on the physicochemical properties of

the extrudates. It was found that, for the expansion index, the best processing conditions were 100 °C for the zone A, 110 °C for the zone B, 60% of moisture content and 25% of chickpea, while, for bulk density, the best processing conditions were 100 °C for the zone A, 110 °C for the zone B, 50% of moisture content and 25% of chickpea, moreover, the texture was affected by temperature, moisture content and amount of chickpea. The desirable characteristics (high expansion, low bulk density, and hardness) were obtained at high processing temperatures, high moisture and low concentration of chickpea. The fractional factorial experiment allowed to reduce the size of the experiment for further investigations.

**Keywords:** Design and innovation, extrusion, snack, third-generation, wheat, chickpea.

## INTRODUCCIÓN

En el mercado se elabora una amplia variedad de botanas, entre las que se encuentran las botanas de tercera generación, conocidas como "productos semielaborados" o "pellets", que tienen la ventaja de conservar su calidad sin deterioro durante largos periodos, además de que requieren menor espacio de almacenamiento [1]. Actualmente la industria de botanas presenta una tendencia en su procesamiento, cuya finalidad es aumentar el valor nutrimental, mediante la adición de componentes funcionales y nutraceúticos como pudieran ser las leguminosas [2].

El garbanzo es una de las leguminosas más importantes en México [3], debido a que es buena fuente de minerales, tiene grasas esenciales, altos contenidos de fibra y es una importante fuente de proteína con aminoácidos esenciales [4]. Otra fuente importante de proteína es la soya, cuyos subproductos pueden contener hasta 90% de proteína [5], de buena calidad y bajo costo [6].

Sin embargo, añadir ingredientes alternativos con altos contenidos de proteína en las formulaciones de las botanas, puede afectar



la textura, expansión y aceptabilidad general del producto extruido, como es el caso de las botanas [7], [8], [9]. Ante ello, la tecnología de extrusión permite cambiar la textura y las características estructurales de los productos [8]. Este proceso involucra la aplicación de altas temperaturas en tiempos cortos (HTST), que convierte la masa de harinas de cereales y leguminosas en un fluido de muy alta viscosidad [10], permite conservar componentes como fibra, minerales y otros compuestos funcionales, y reduce microorganismos en los materiales de origen [1], [11].

En un estudio realizado por Aguilar [12], se optimizó un proceso de extrusión para la obtención de pellets expandidos a base de almidón de papa, maíz con alto contenido de proteína y harina de soya, utilizando un extrusor de tornillo simple, con tres zonas de calentamiento. Los autores obtuvieron mayor índice de expansión cuando la temperatura de barril estuvo en un rango de temperatura de 123 a 140 °C y la humedad entre 27 y 31%. Chaiyakul [7] observó que la adición de proteínas de maíz a un extrudido de almidón de arroz redujo la expansión y extensibilidad de los productos, además de que la dureza estuvo influenciada por la cantidad de proteína añadida.

Conforme a lo anterior, este trabajo tiene como objetivo determinar el efecto de las variables del proceso de extrusión como el contenido de garbanzo, la humedad de alimentación y la temperatura de procesamiento sobre las propiedades fisicoquímicas relacionadas con la obtención de expandidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

La harina de trigo comercial, utilizada en este estudio, contenía 5 g/100 g de humedad, 10 g/100 g de proteína, 1 g/100 g de grasa, 4 g/100g de fibra, 3 g/100 g de ceniza y 77 g/100 g de carbohidratos. Se utilizó harina de garbanzo (Nuevo León, México) que conte-

nía 13 g/100 g de humedad, 20 g/100 g de proteína, 7 g/100g de grasa, 15 g/100 g de fibra, 4 g/100g de ceniza y 41 g/100g de carbohidratos. Los extrudidos se desarrollaron en CICATA-IPN, Querétaro.

### Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial fraccionado, con cuatro variables independientes, temperatura de extrusión en zona A ( $X_1$ ), temperatura de extrusión en zona B ( $X_2$ ), contenido de humedad del material de alimentación ( $X_3$ ) y cantidad de garbanzo ( $X_4$ ). Las variables dependientes que se midieron fueron índice de expansión, densidad aparente dureza. Se realizaron 15 tratamientos, cada uno por duplicado (véase Tabla 1).

### Proceso de extrusión

El proceso de extrusión se realizó con un extrusor de tornillo simple (CICATA-IPN, Qro., patente MX/a/2007/016262) con una relación L/D=21 mm, una longitud de canal de 18 mm y una profundidad de canal de 3 mm. El extrusor cuenta con dos zonas de calentamiento, con un dado de acero inoxidable y una ranura rectangular de 2 mm de ancho por 10 mm de largo, facilitado por CICATA-Unidad Querétaro. Las temperaturas en las zonas de calentamiento se manejaron entre 80 y 120 °C, mientras que la velocidad del tornillo fue de 5 rpm.

Una vez extrudido el material, se cortó en cuadros de aproximadamente 1.5x1.5 cm. Las piezas se deshidrataron en un secador Excalibur de nueve bandejas, (modelo 2900ECB, California, Estados Unidos) a 52 °C durante 24 h para obtener los pellets.

### Proceso de expansión

Los pellets extrudidos se expandieron en una máquina Sunbeam (modelo FPSBPP7052) que funciona con una turbina que genera aire caliente a una velocidad de 2 m/s, a 280 °C durante 30-50 s de exposición al flujo turbulento.

Tabla 1. Diseño experimental con variables codificadas utilizadas para producir botanas extrudidas expandidas.

| Tratamiento | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1           | +1             | -1             | +1             | -1             |
| 2           | +1             | +1             | -1             | +1             |
| 3           | -1             | +1             | +1             | -1             |
| 4           | +1             | -1             | +1             | +1             |
| 5           | +1             | +1             | -1             | +1             |
| 6           | +1             | +1             | +1             | -1             |
| 7           | -1             | +1             | +1             | +1             |
| 8           | -1             | -1             | +1             | +1             |
| 9           | -1             | -1             | -1             | +1             |
| 10          | +1             | -1             | -1             | -1             |
| 11          | -1             | +1             | -1             | -1             |
| 12          | +1             | -1             | -1             | -1             |
| 13          | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 14          | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 15          | 0              | 0              | 0              | 0              |

X<sub>1</sub>=Temperatura zona A; X<sub>2</sub>=Temperatura zona B; X<sub>3</sub>=Humedad del material de alimentación;  
X<sub>4</sub>=Contenido de garbanzo

### Índice de expansión

El índice de expansión (IE) se determinó utilizando el método reportado por Penfield y Campbell [19]. La determinación se basa en el volumen desplazado de semilla de mijo, por los *pellets* expandidos y sin expandir. El IE se determinó restando el volumen inicial, es decir, el volumen de la semilla desplazada por los *pellets* sin expandir, al volumen final, es decir, el volumen de la semilla desplazada por los *pellets* expandidos, y dividiendo éste entre el volumen inicial. El proceso se realizó por duplicado para cada tratamiento.

### Densidad aparente

La densidad aparente (DA) se determinó mediante el método de desplazamiento de volumen. Se pesó la cantidad de extrudidos necesarios para llenar un recipiente de 250 ml. Los extrudidos se añadieron aleatoriamente al recipiente y el recipiente se agitó varias veces durante el llenado. Para encontrar la densidad aparente del producto, se dividió

el peso de los extrudidos entre su volumen, los resultados se registraron en kg/m<sup>3</sup>.

### Dureza

La dureza de los extrudidos se determinó usando un texturómetro TA.XT plus (de Alemania), con una sonda cónica de 30° (TA-17). La dureza (en Newtons) se determinó midiendo la fuerza máxima requerida para romper las muestras. Se realizaron 6 repeticiones de cada tratamiento.

### Diseño y análisis estadístico

Las variables independientes evaluadas fueron la temperatura de la zona A (X<sub>1</sub>), temperatura de la zona B (X<sub>2</sub>), contenido de humedad del material de alimentación (X<sub>3</sub>) y cantidad de garbanzo (X<sub>4</sub>), los niveles de variación fueron 80, 90 y 100 °C, 100, 110 y 120 °C, 50, 55 y 60% y 25, 30 y 35%, respectivamente. Se realizó un análisis factorial fraccionado para encontrar los factores más significativos del proceso de elaboración de extrudidos con



garbanzo. La significancia del modelo se justificó mediante el análisis de la varianza (prueba F), y el efecto del índice de expansión se observó a través de la metodología de superficie de respuesta.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se determinó el efecto de las variables del proceso de extrusión, temperatura de extrusión de zona A ( $X_1$ ) y zona B ( $X_2$ ), contenido de humedad del material de alimentación ( $X_3$ ) y cantidad de garbanzo ( $X_4$ ), sobre los parámetros fisicoquímicos de las botanas de tercera generación con garbanzo.

### Efecto de las variables de extrusión sobre el índice de expansión de los extrudidos

Los valores de índice de expansión (IE) de los extrudidos estuvieron en el rango de 0.12 a 0.62 (véase Tabla 2). El modelo de predicción utilizado explicó el 88% de la variación total ( $p \leq 0.000$ ) para los valores del IE (véase Tabla 3). En la Figura 1, se observa que las variables de temperatura de zona A, zona B, humedad y cantidad de garbanzo influyen sobre el IE de las botanas de tercera generación.

Se observó que el IE aumentó ligeramente al incrementar la temperatura de la zona A de calentamiento por encima de los 90 °C, y mantener la temperatura de la zona B

**Tabla 2.** Diseño factorial fraccional con valores de variables independientes y dependientes de los extrudidos expandidos

| Tratamiento | Variables independientes |       |       |       | Variables dependientes |   |               |
|-------------|--------------------------|-------|-------|-------|------------------------|---|---------------|
|             | $X_1$                    | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | IE                     | D <sub>Ap</sub><br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Dureza<br>(N) |
| 1           | 100                      | 110   | 60    | 25    | 0.62±0.08              | 633.79±103.39                           | 38.06±8.25    |
| 2           | 100                      | 120   | 50    | 35    | 0.12±0.02              | 816.24±14.61                            | 34.84±9.37    |
| 3           | 80                       | 120   | 60    | 25    | 0.25±0.09              | 721.64±30.52                            | 44.88±8.75    |
| 4           | 100                      | 110   | 60    | 35    | 0.46±0.12              | 651.11±44.88                            | 35.09±7.65    |
| 5           | 100                      | 120   | 50    | 35    | 0.25±0.06              | 748.76±6.84                             | 48.69±10.40   |
| 6           | 100                      | 120   | 60    | 25    | 0.47±0.05              | 641.67±14.71                            | 42.00±8.71    |
| 7           | 80                       | 120   | 60    | 35    | 0.14±0.06              | 815.91±20.52                            | 26.05±11.76   |
| 8           | 80                       | 110   | 60    | 35    | 0.20±0.07              | 727.39±36.23                            | 22.28±9.73    |
| 9           | 80                       | 110   | 50    | 35    | 0.15±0.10              | 742.98±26.75                            | 30.90±5.87    |
| 10          | 100                      | 110   | 50    | 25    | 0.44±0.09              | 609.19±32.13                            | 37.99±5.13    |
| 11          | 80                       | 120   | 50    | 25    | 0.30±0.05              | 713.98±30.69                            | 36.32±8.17    |
| 12          | 80                       | 110   | 50    | 25    | 0.15±0.06              | 738.83±70.44                            | 30.64±9.99    |
| 13          | 90                       | 115   | 55    | 30    | 0.34±0.04              | 684.41±12.80                            | 35.44±7.89    |
| 14          | 90                       | 115   | 55    | 30    | 0.35±0.06              | 682.40±22.05                            | 31.54±5.72    |
| 15          | 90                       | 115   | 55    | 30    | 0.33±0.03              | 689.34±43.13                            | 36.37±8.35    |

IE=Índice de expansión; D<sub>Ap</sub>=Densidad aparente; D=Dureza.  
Los valores se muestran como la media ± la desviación estándar.

**Tabla 3.** Análisis de varianza para las variables respuesta analizadas

| Variable respuesta | r <sup>2</sup> | r <sup>2</sup> ajustada | r <sup>2</sup> predicha | Valor F | Valor P |
|--------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------|---------|
| IE                 | 0.88           | 0.81                    | 0.63                    | 12.84   | 0.000   |
| DAp                | 0.81           | 0.70                    | 0.38                    | 7.34    | 0.000   |
| D                  | 0.68           | 0.48                    | 0.20                    | 3.53    | 0.009   |

IE = Índice de expansión; DAp = Densidad aparente; D=Dureza. (\*P > 0.05).

por debajo o igual a 115 °C. El IE disminuyó cuando incrementó la cantidad de harina de garbanzo en los diferentes tratamientos. Resultados similares fueron reportados por algunos autores que adicionaron diferentes fuentes de proteína como soya desengrasada y harina de garbanzo, a botanas directamente expandidas y obtuvieron como resultado de su adición productos menos expandidos y de mayor densidad aparente y dureza [8] [13].

Los gráficos de superficie (Figura 1) muestran el efecto combinado de las condiciones de extrusión respecto al IE. La Ecuación 1 de regresión en unidades codificadas es:

$$IE = -23.12 + 0.1805X_1 + 0.1722X_2 + 0.1006X_3 + 0.1698X_4 - 0.0004X_1 X_1 - 0.0009X_1 X_2 + 0.0005X_1 X_3 - 0.0006X_1 X_4 - 0.0011X_2 X_3 - 0.0009X_2 X_4 - 0.0002X_3 X_4 \quad (1)$$

Donde

X<sub>1</sub> = Temperatura zona A

X<sub>2</sub> = Temperatura zona B

X<sub>3</sub> = Humedad del material de alimentación

X<sub>4</sub> = Contenido de garbanzo.

Yovchev *et al.* [14] estudiaron la influencia de los parámetros de extrusión en las propiedades físicas de productos directamente expandidos, de garbanzo y cebada. Los autores mencionan que, para los extrudidos de garbanzo, la expansión se vio principalmente afectada por el contenido de humedad y la temperatura del dado, mientras que para los extrudidos de cebada los factores

que tuvieron efecto significativo en la expansión fueron la humedad y velocidad de tornillo. Los autores concluyen que la expansión podría aumentar, proporcionalmente con la temperatura y el contenido de humedad del material de alimentación.

Otros autores [15] estudiaron el efecto de extrusión a baja humedad sobre la expansión y otros factores, de un producto directamente expandido, a base de aislado de proteína de chícharo. Los productos se procesaron a humedades de entre 26 y 35%, y temperaturas de barril de entre 130 y 170 °C, pero obtuvieron mayor expansión a temperatura intermedia (140 a 150 °C) y baja humedad (26%), contrario a los resultados del presente estudio, sin embargo, las condiciones de trabajo reportadas fueron para botanas de segunda generación.

Nascimento, Calado y Carvalho [16] determinaron el efecto de la temperatura de extrusión y del contenido de grano gastado resultante de la manufactura de cerveza (BSG) sobre las propiedades físicas y las características de textura de extrudidos de arroz, directamente expandidos. La expansión se redujo cuando aumentó el contenido de BSG, lo cual se atribuye a la composición del grano, principalmente al alto contenido de proteína (21.78 g) y al bajo contenido de almidón (10.81 g), debido a que este último es el principal componente, y responsable de la expansión por sus propiedades de gelatinización [17], además de que contribuye a otras características del producto final como la dureza, crujencia, entre otras [18].

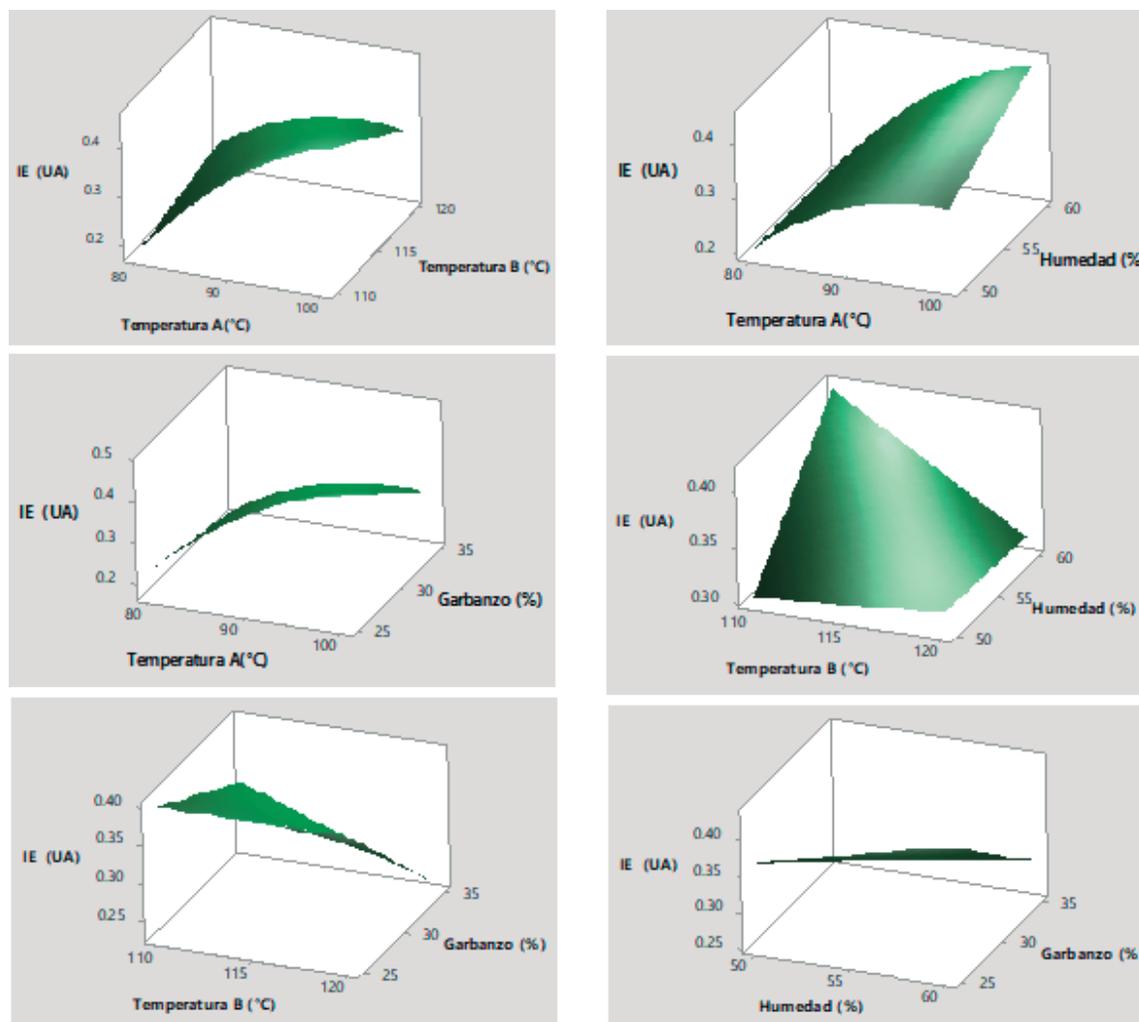


Figura 1. Diagrama de superficie para los efectos combinados de las variables dependientes sobre el índice de expansión (IE) de los extrudidos.

### Efecto de las variables de extrusión sobre la densidad aparente de los extrudidos

Los valores de densidad aparente (DAP) de los extrudidos estuvieron en el rango de 609.19 a 816.24 kg/m<sup>3</sup> (véase Tabla 2). El modelo de predicción utilizado explicó el 81% de la variación total ( $p \leq 0.000$ ) para la DAP (véase Tabla 3). Se observó que existen diferencias significativas entre los tratamientos sobre la densidad aparente.

La densidad aparente de los extrudidos aumentó cuando también lo hizo la cantidad de harina de garbanzo. Bastos-Cardoso *et al.* [10] reportan que la incorporación de fibra y

proteína en los extrudidos da como resultado productos de mayor densidad aparente, por lo que los resultados del presente trabajo pueden atribuirse al efecto de la proteína del garbanzo. Sharma *et al.* [20] señalan que si el calor no es suficiente (baja temperatura de extrusión) o la humedad del material de alimentación es alta el producto obtenido es más denso y menos expandido, sin embargo, otros estudios indican que el aumento de densidad puede atribuirse al aumento de la gelatinización del almidón a consecuencia del aumento de la temperatura de procesamiento [21]. La densidad de los extrudidos indica la expansión y la estructura de células y poros en los mismos.

En este trabajo, se observa que las condiciones de procesamiento como la humedad de alimentación y temperatura, y materias primas en la formulación como la harina de garbanzo afectan directamente sobre la densidad de los extrudidos. Algunos autores han reportado que temperaturas altas de procesamiento ( $> 135\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) pueden influir sobre la degradación del almidón, lo que proporcionará productos con alta densidad aparente y baja expansión [1], [21], [22], [23], [24].

### Efecto de las variables de extrusión sobre la densidad aparente de los extrudidos

Los valores de dureza de los extrudidos estuvieron en el rango de 22.28 a 48.69 N (véase Tabla 2). El modelo de predicción utilizado explicó el 68% de la variación total ( $p \leq 0.009$ ) para la dureza (véase Tabla 3). Se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos. La máxima dureza se observó cuando la cantidad de garbanzo fue de 35%.

La fuerza máxima indica la dureza de los extrudidos. El incremento de la cantidad de harina de garbanzo en las formulaciones aumentó la dureza del producto, misma que se relaciona con la expansión, debido a que a medida que el producto se vuelve más duro tiende a expandirse menos [13]. Los extrudidos con menor dureza resultaron quebradizos, es decir, que la fuerza de ruptura aumentó debido a las condiciones de procesamiento. Por otro lado, el incremento de la dureza con respecto a la temperatura puede atribuirse al grado de gelatinización y degradación del almidón [23].

### CONCLUSIONES

Se utilizó un experimento factorial fraccionado para reducir selectivamente el tamaño del experimento y evaluar el efecto de las posibles combinaciones de las variables de interés. Se observó que las propiedades fisicoquímicas evaluadas se vieron afectadas por las variables de procesamiento. A medida que aumentó la

cantidad de garbanzo añadido, se redujo la expansión de los extrudidos, aumentando la densidad aparente y la dureza. Las temperaturas que permitieron obtener un mejor grado de expansión fueron  $100$  y  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en las zonas A y B, respectivamente, con un 60% de humedad. Para posteriores trabajos, se fijó la cantidad de garbanzo a 25%, de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, para la optimización del experimento y el mejoramiento de la calidad de los extrudidos.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo económico brindado durante el periodo del programa de maestría. A la Universidad Autónoma de Querétaro, mi alma máter, por la oportunidad de emprender y finalizar mis estudios de posgrado.

### REFERENCIAS

- [1] C. Delgado-Nieblas, E. Aguilar-Palazuelos, A. Gallegos-Infante, N. Rocha-Guzmán, J. Zazueta-Morales and J. Caro-Corrales, "Characterization and Optimization of Extrusion Cooking for the Manufacture of Third-Generation Snacks with Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.) Flour," *Cereal Chemistry*, vol. 89, no. 1, pp. 65-72, ene. 2012.
- [2] M. Lizárraga-Ramírez, E. Aguilar-Palazuelos, J. Zazueta-Morales, C. Delgado-Nieblas, C. Ordorica-Falomir, N. Jacobo-Valenzuela, I. Camacho-Hernández and V. Limón-Valenzuela, *Características Fisicoquímicas y Microestructurales de Botanas Directamente Expandidas por Extrusión Adicionadas de Calabaza (*Cucurbita moschata* D)*, Sonora, 2013.
- [3] P. Ortega-Murrieta, G. Fierros-Leyva, I. Padilla-Valenzuela, V. Valenzuela-Herrera and J. Acosta-Gallegos, "Blanoro, nueva variedad de garbanzo blanco de grano extra grande para exportación," *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 7, no. 1, 2016.



- [4] C. Fares and V. Menga, "Chapter 41-Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Fortification of Cereal-Based Foods to Increase Fiber and Phytochemical Content," in *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. San Diego: Academic Press pp. 533-546, 2014.
- [5] L. Chen, J. Chen, J. Ren and M. Zhao, "Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties," *Food Hydrocolloids*, vol. 25, no. 5, pp. 887-897, jul. 2011.
- [6] Y. Yang, Z. Wang, R. Wang, S. Xiaonan, B. Qi, F. Han, Y. Li and L. Jiang, "Secondary Structure and Subunit Composition of Soy Protein In Vitro Digested by Pepsin and Its Relation with Digestibility," *BioMed Research International*, vol. 2016, pp. 1-11, ene. 2016.
- [7] S. Chaiyakul, K. Jangchud, A. Jangchud, P. Wuttijumnong and R. Winger, "Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 42, no. 3, pp. 781-787, abr. 2009.
- [8] S. Korkerd, S. Wanlapa, C. Puttanlek, D. Uttapap and V. Rungsardthong, "Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 53, no. 1, pp. 561-570, ene. 2016.
- [9] G. Shirani and R. Ganesharane, "Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index," *Journal of Food Engineering*, vol. 90, no. 1, pp. 44-52, ene. 2009.
- [10] I. Bastos-Cardoso, J. Zazueta-Morales, F. Martínez-Bustos and Y. Kil-Chang, "Development and Characterization of Extruded Pellets of Whole Potato (*Solanum tuberosum* L.) Flour Expanded by Microwave Heating," *Cereal Chemistry*, vol. 84, no. 2, pp. 137-144, mar. 2007.
- [11] J. D. J. Berrios, M. Cámara, M. E. Torija and M. Alonso, "Effect of Extrusion Cooking and Sodium Bicarbonate Addition on the Carbohydrate Composition of Black Bean Flours," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 26, no. 2, pp. 113-128, jun. 2002.
- [12] E. Aguilar-Palazuelos, J. Zazueta-Morales, E. N. Harumi, and F. Martínez-Bustos, "Optimization of extrusion process for production of nutritious pellets", *Food Science and Technology*, vol. 32, no. 1, pp. 34-42, mar. 2012.
- [13] S. Faiz-Ul-Hassan, S. Mian-Kamran, B. Masood-Sadiq and S. Muhammad, "Development of protein, dietary fiber, and micronutrient enriched extruded corn snacks", *Journal of Texture Studies*, vol. 48, no. 3, pp. 221-230, oct. 2016.
- [14] A. Yovchev, A. Stone, S. Hood-Niefer, and M. Nickerson, "Influence of the extrusion parameters on the physical properties of chickpea and barley extrudates," *Food Science and Biotechnology*, vol. 26, no. 2, pp. 393-399, abr. 2017.
- [15] S. M. Beck, K. Knoerzer and J. Arcot, "Effect of low moisture extrusion on a pea protein isolate's expansion, solubility, molecular weight distribution and secondary structure as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)", *Journal of Food Engineering*, vol. 214, pp. 166-174, dic. 2017.
- [16] T. A. Nascimento, V. Calado and C. W. P. Carvalho, "Effect of Brewer's spent grain and temperature on physical properties of expanded extrudates from rice," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 79, pp. 145-151, jun. 2017.
- [17] L. Day and B. G. Swanson, "Functionality of Protein-Fortified Extrudates", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 12, no. 5, pp. 546-564, sep. 2013.
- [18] J. Panak Balentić, J. Babić, A. Jozinović, D. Ačkar, B. Miličević, B. Muhamedbegović, and D. Šubarić, "Production of third-generation snacks", *Croatian Journal of Food Science and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 98-105, may 2018.
- [19] M. P., Penfield and A. M. Campbell. 1990. *Experimental food science*. 3rd ed. San Diego: Academic Press. [Online]. Available: <https://trove.nla.gov.au/version/21202680>
- [20] M. Sharma, D. N. Yadav, D. Mridula and R. K. Gupta, "Protein Enriched Multigra-

in Expanded Snack: Optimization of Extrusion Variables", *Proceedings of the National Academy of Science India Section B: Biological Sciences*, vol. 86, no. 4, pp. 911-920, dic. 2016.

[21] E. Y. Lee, K. I. Lim, J. Lim, and S.-T. Lim, "Effects of Gelatinization and Moisture Content of Extruded Starch Pellets on Morphology and Physical Properties of Microwave-Expanded Products," *Cereal Chemistry*, vol. 77, no. 6, pp. 769-773, nov. 2000.

[22] L. Giolo Taverna, M. Leonel, and M. Mischan, "Changes in physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks," *Food Science and Technology Camp.*, vol. 32, pp. 826-834, dic. 2012.

[23] X. Ruiz-Armenta, J. Zazueta-Morales, E. Aguilar-Palazuelos, C. Delgado-Nieblas, A. López-Díaz, I. Camacho-Hernández, R. Gutiérrez-Dorado and F. Martínez-Bustos, "Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: optimization process," *CyTA - Journal of Food*, vol. 16, no. 1, pp. 172-180, ene. 2018.

[24] X. Tovar-Jiménez, J. Caro-Corrales, C. Gómez-Aldapa, J. Zazueta-Morales, V. Limón-Valenzuela, J. Castro-Rosas, J. Hernández-Ávila and E. Aguilar-Palazuelos, "Third generation snacks manufactured from orange by-products: physicochemical and nutritional characterization," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 10, pp. 6607-6614, oct. 2015.