

## Caracterización funcional de un cereal para desayuno a base de harina de *Oxalis tuberosa* adicionado con fibra.

Castro Mendoza M P <sup>a\*</sup>, Heredia Olea E <sup>b</sup>, Palma Rodríguez H M <sup>a</sup>, Vargas Torres A <sup>a</sup>, Hernández Uribe J P <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP), Av. Universidad km 1, Rancho Universitario, C.P. 43600, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, MÉXICO. [marisol1789@hotmail.com](mailto:marisol1789@hotmail.com)

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Escuela de Ingeniería y Ciencias (EIC), Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, C.P. 64849, Monterrey, Nuevo León, MÉXICO.

### RESUMEN:

Los cereales para desayuno presentan beneficios a la salud en combinación con una dieta equilibrada; juegan un papel importante en la dieta ya que aseguran el funcionamiento adecuado del organismo, el sistema nervioso y el tracto gastrointestinal. Una de las tecnologías más utilizadas actualmente en la elaboración de cereales para desayuno, es la extrusión. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue obtener un cereal extrudido alto en fibra, a base de harina de *Oxalis tuberosa* y fibra de avena, con propiedades fisicoquímicas aceptables (índice de expansión, densidad aparente, absorción y solubilidad en agua). Se obtuvieron 5 tratamientos diferentes que fueron procesadas en un extrusor de doble tornillo. El valor más alto de índice de expansión lo obtuvo el tratamiento 5 (13% de humedad-100% harina de *Oxalis tuberosa*). Los resultados de densidad aparente estuvieron en un intervalo de 0.13-0.51 g/ml, tratamiento 4 y tratamiento 2, respectivamente. Los resultados para índice de absorción de agua estuvieron en un rango entre 2.8-4.2 g H<sub>2</sub>O/g muestra, obteniendo el valor más bajo para el tratamiento 4. Los resultados de índice de solubilidad de agua mostraron que el valor más alto fue obtenido para el tratamiento 5 y el más bajo para la T1 y T2..

### ABSTRACT:

Breakfast cereals have health benefits in combination with a balanced diet; They play an important role in the diet since they ensure the proper functioning of the organism, the nervous system and the gastrointestinal tract. One of the most used technologies currently in the preparation of breakfast cereals, is extrusion. Therefore, the objective of this study was to obtain an extruded cereal high in fiber, based on tuberous *Oxalis* flour and oat fiber, with acceptable physicochemical properties (expansion index, bulk density, absorption and solubility in water). We obtained 5 different treatments that were processed in a twin screw extruder. The highest value of expansion index was obtained by treatment 5 (13% humidity-100% *Oxalis tuberosa* flour). The apparent density results were in a range of 0.13-0.51 g / ml, treatment 4 and treatment 2, respectively. The results for water absorption index were in a range between 2.8-4.2 g H<sub>2</sub>O / g sample, obtaining the lowest value for treatment 4. The water solubility index results showed that the highest value was obtained for the water solubility index. treatment 5 and the lowest for T1 and T2. Breakfast cereals have health benefits in combination with a balanced diet; They play an important role in the diet since they ensure the proper functioning of the organism, the nervous system and the gastrointestinal tract. One of the most used technologies currently in the preparation of breakfast cereals, is extrusion. Therefore, the objective of this study was to obtain an extruded cereal high in fiber, based on *Oxalis* tuberous flour and oat fiber, with acceptable physicochemical properties (expansion index, bulk density, absorption and solubility in water). We obtained 5 different treatments that were processed in a twin screw extruder. The highest value of expansion index was obtained by treatment 5 (13% humidity-100% *Oxalis tuberosa* flour). The apparent density results were in a range of 0.13-0.51 g / ml, treatment 4 and treatment 2, respectively. The results for water absorption index were in a range between 2.8-4.2 g H<sub>2</sub>O / g sample, obtaining the lowest value for treatment 4. The water solubility index results showed that the highest value was obtained for the water solubility index. treatment 5 and the lowest for T1 and T2..

### Key Words:

Breakfast cereal, *Oxalis tuberosa*, oat fiber, extrusion, expansion index, bulk density

### Palabras clave:

Cereal para desayuno, *Oxalis tuberosa*, fibra de avena, extrusión, índice de expansión, densidad aparente

Área: Alimentos funcionales

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad como cambio en el estilo de vida, se ha observado un aumento en la demanda de alimentos procesados, no obstante, el consumidor se preocupa más por la relación entre alimentación y salud. La investigación busca nuevas materias primas que aporten compuestos bioactivos que ayuden a mejorar o prevenir ciertas enfermedades. Estas dos razones han hecho que las investigaciones en el desarrollo de nuevos alimentos se utilicen materias primas no convencionales, con la finalidad de producir alimentos funcionales. Alimento funcional se define como aquel que tiene uno o más componentes específicos, que tienen influencia positiva en la salud y el bienestar en el consumidor, dentro de la clasificación de alimentos funcionales podemos encontrar una gran variedad, por mencionar algunos, pan de caja, productos lácteos, jugos, galletas y los cereales para desayuno. Los cereales para desayuno juegan un papel importante en la dieta ya que aseguran el funcionamiento adecuado del organismo, el sistema nervioso y el tracto gastrointestinal. Una de las tecnologías más utilizadas actualmente en la elaboración de cereales para desayuno, es la extrusión. La cocción por extrusión es una tecnología versátil, de bajo costo y muy eficiente en el procesamiento de alimentos (Escalante-Aburto, *et al.*, 2014). El consumo de un desayuno se ha asociado con una mayor ingesta de fibra y de calcio, así como un menor riesgo de sobrepeso u obesidad (Spence, 2017). Una de las tecnologías más utilizadas para la elaboración de cereales para desayuno, es la extrusión; esta tecnología es ampliamente utilizada por las industrias alimentarias en la producción de cereales para desayuno, alimentos para bebés, refrigerios, análogos de carne y almidones modificados (Ding, *et al.*, 2005) la cual tiene la posibilidad de cambiar las propiedades funcionales de las materias primas utilizadas (Brennan, *et al.*, 2008). Existe la posibilidad de manipular el valor nutricional de los productos extruidos mediante la incorporación de materias primas ricas en componentes bioactivos (como carotenoides, fibra dietética, etc.). Existen nuevas fuentes botánicas, las cuales se busca sean explotadas por su alto contenido en compuestos bioactivos los cuales dan grandes beneficios a la salud; una de esas nuevas fuentes es la *Oxalis tuberosa*, que constituye una fuente de recursos poco conocidos y explotados que representan posibilidades para la agricultura, la alimentación, la agroindustria y el comercio internacional. *Oxalis tuberosa* representa una buena fuente de antioxidantes por lo que puede considerarse como una excelente opción de materia prima para la elaboración de alimentos con propiedades funcionales. El objetivo del presente trabajo es la elaboración de un cereal para desayuno usando como materia prima *Oxalis tuberosa*, la cual es rica en compuestos bioactivos, ya que en la actualidad no hay cereales para desayuno a base de tubérculos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

El tubérculo *Oxalis tuberosa* fue adquirido en el mercado local de Acaxochitlán, Hidalgo. La fibra de avena (Vitacel® HF401) fue donada por el laboratorio J. RETTENMAIER USA LP.

### Elaboración del cereal para desayuno

Para la elaboración del cereal para desayuno se realizaron 5 formulaciones de acuerdo al Cuadro 1, donde varió el contenido de humedad, fibra y harina de *Oxalis tuberosa*. Para la elaboración del cereal para desayuno, se utilizó un extrusor de doble tornillo marca Bühler a una temperatura de 145-155°C y una velocidad de tornillo de 250 rpm.

**Cuadro 1.** Formulación (%) de los distintos tratamientos obtenidos por extrusión

Tratamientos	Fibra de avena	Harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	Humedad
1	20	80	20
2	0	100	20
3	10	90	17.5
4	20	80	13
5	0	100	13

### Índice de expansión

El Índice de Expansión (IE) se determinó siguiendo la metodología de Escalante-Aburto, *et al.*, (2014). Se determinó el diámetro de los extrudidos usando un Calibrador digital Weston (Modelo STW-1116–150) con una precisión de 0,025 mm. La relación de expansión se determinó como la relación del radio del área de sección transversal de los extrudidos en relación con el diámetro de la salida del extrusor (4 mm). El diámetro del extruido fue el promedio de cinco mediciones aleatorias de los extrudidos obtenidos en cada tratamiento.

### Densidad aparente

La Densidad Aparente (DA), se determinó siguiendo la metodología reportada por Lo, *et al.*, (1998). Las determinaciones se realizaron a 5 extrudidos por cada tratamiento. Se determinó el peso de cada muestra en una balanza analítica Sartorius (Modelo AX224) y se midió el diámetro de 5 extrudidos por cada tratamiento con un Calibrador digital Weston (Modelo STW-1116–150). La densidad de la muestra se calculó en  $\text{g/cm}^3$ .

### Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)

El índice de solubilidad e índice de absorción de agua se determinó de acuerdo con los procedimientos descritos por Anderson, *et al.*, (1970) con algunas modificaciones. Se pesaron 2,5 g de muestra previamente molidas y tamizadas, se colocaron en un tubo de polipropileno de 50 ml previamente tarado, las muestras se disolvieron en 30 mL de agua destilada a temperatura ambiente, se agitaron vigorosamente 1 min, se colocaron en un termoagitador a una temperatura de 30°C con charola de agitación constante a 70 rpm, durante 30 min. Posteriormente, la muestra se centrifugó a 6000 rpm durante 10 min. Se separó por decantación el gel sedimentado vaciando el sobrenadante en charolas de aluminio a peso constante previamente taradas; se sometieron a evaporación a 90°C en estufa eléctrica durante 24 horas. Las charolas se dejaron enfriar por 30 minutos en un desecador y se pesaron para obtener el peso de los sólidos solubles (residuo de la evaporación) y así calcular el ISA. Después de decantar el sobrenadante, el sedimento remanente en el tubo se pesó y se expresó como gramos de agua absorbida por gramo de muestra seca para obtener IAA. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la fórmula:

$$\text{IAA} = (\text{peso del residuo de centrifugación}) / (\text{peso de la muestra} - \text{peso del residuo de evaporación})$$

El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresa como una relación entre el residuo de la evaporación y el peso seco de la muestra, de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{ISA} = (\text{peso del residuo de la evaporación}) / (\text{peso de la muestra}) \times 100$$

### Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Los análisis de microscopía electrónica de barrido se realizaron a las muestras extrudidas de acuerdo al procedimiento de Zazueta-Morales, *et al.*, (2002). Las muestras se colocaron sobre una cinta conductora de cobre de doble adhesión, la cual se fijó previamente en un soporte de aluminio del microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5800LV. La muestra se cubrió con una capa de carbón de 30 nm y enseguida se colocaron en el ionizador de metales JEOL y se recubrieron con una capa de oro.

### Diseño experimental y análisis Estadístico

Para el cereal para desayuno se utilizó un diseño de dos factores, % de humedad y % de fibra de avena, con tres niveles cada uno. Se empleó un diseño experimental central compuesto, rotatable, con un valor de  $\alpha = 1.682$ .

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia del 95% ( $\alpha = 0.05$ ). Para la comparación de medias se utilizará el método de comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey al mismo nivel de significancia. Para la obtención de los resultados se utilizará el programa estadístico Sigma-Stat (SYSTAT software, 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice de expansión de los extrudidos varió de 1.32-2.56 (Tabla 1). El mayor índice de expansión se obtuvo con el tratamiento 5, por el contrario, el valor más bajo fue para el tratamiento 1. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que, a menor contenido de humedad y fibra de avena, el IE se favorece. El contenido de humedad contribuye a la formación de burbujas conjuntamente con la acción de la temperatura, y de esta manera la muestra

se expande. Cuando el almidón es gelatinizado durante la extrusión, se forma una matriz que atrapa el vapor de agua y permite la formación de burbujas (Guy, *et al.*, 1988). Thymi *et al.*, (2005) reportaron que un incremento en el contenido de humedad durante la extrusión cambia la estructura molecular de la amilopectina en el material a base de almidón reduciendo la elasticidad de la masa fundida lo que disminuye el índice de expansión y aumenta la densidad aparente; estos autores reportan que esto puede ser debido a que un mayor contenido de humedad provoca que las partículas de la materia prima no generen fricción contra los elementos y el cañón del extrusor por lo cual no se genera la expansión deseada. Ding, *et al.*, (2005), encontraron que la humedad es el factor principal que afecta la densidad de los extruidos y su expansión. En este trabajo, la humedad fue la variable que más afectó al IE. Según los autores mencionados, la alta dependencia de la expansión en relación con la humedad sería el resultado de su influencia en las características elásticas de los materiales. Los altos contenidos de humedad de la materia prima pueden reducir la elasticidad de la masa mediante la plastificación del material fundido, lo que resulta en la reducción de la energía mecánica específica, con la consecuente reducción de la gelatinización. Otro factor importante que interfiere en el índice de expansión es el contenido de fibra en la materia prima. Liu, *et al.* (2000) afirmaron que el salvado de trigo interfería con la expansión del producto extrudido, ya que tiende a romper las paredes celulares a un espesor crítico antes de que la célula haya alcanzado su máxima expansión, al aumentar el contenido de fibra dietética, se produce una reducción en el tamaño promedio de las células, así como también formación de poros incompletos. El índice de expansión es inversamente proporcional a la densidad aparente, la cual es afectada por la formulación de ingredientes, la temperatura y velocidad de tornillo del extrusor (Anderson, *et al.*, 1970).

**Tabla 1.** Resultados de índice de expansión, densidad aparente, índice de solubilidad e índice de absorción de agua, de las distintas formulaciones

Tratamientos	IE	DA	ISA	IAA
<b>Tratamiento 1</b>	1.32 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.015 <sup>a</sup>	33.4 ± 2.5 <sup>a</sup>	3.8 ± 0.23 <sup>ab</sup>
<b>Tratamiento 2</b>	1.60 ± 0.39 <sup>b</sup>	0.51 ± 0.014 <sup>b</sup>	32.3 ± 2.5 <sup>a</sup>	4.0 ± 0.44 <sup>b</sup>
<b>Tratamiento 3</b>	1.65 ± 0.42 <sup>b</sup>	0.22 ± 0.002 <sup>c</sup>	39.1 ± 4.7 <sup>a</sup>	4.2 ± 0.51 <sup>b</sup>
<b>Tratamiento 4</b>	1.73 ± 0.85 <sup>c</sup>	0.13 ± 0.0005 <sup>d</sup>	44.5 ± 7.1 <sup>b</sup>	2.8 ± 0.15 <sup>a</sup>
<b>Tratamiento 5</b>	2.56 ± 0.51 <sup>d</sup>	0.14 ± 0.0008 <sup>d</sup>	49.1 ± 1.4 <sup>b</sup>	3.7 ± 0.14 <sup>ab</sup>

Promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas, letras diferentes si hay diferencias significativas.

IE: Índice de Expansión  
 DA: Densidad aparente  
 ISA: Índice de solubilidad en agua  
 IAA: Índice de absorción de agua

Los resultados de densidad aparente de los distintos tratamientos estuvieron en un intervalo de 0.13-0.51 g/cm<sup>3</sup> (Tabla 1), el valor más bajo fue para los extruidos correspondientes al tratamiento 5 y el más alto para el tratamiento 2. La densidad aparente es un atributo de calidad del producto muy importante para la producción comercial de productos extrudidos Brennan, *et al.*, (2008); es un índice de hinchamiento, en el que los extruidos que tienen una expansión más baja muestran mayor densidad, este parámetro sugiere una buena porosidad y aireación de la estructura de los extruidos, lo cual es deseable en este tipo de productos (Wójtowicz *et al.*, 2013). Estos resultados al igual que en el parámetro anterior, muestran el mismo comportamiento, ya que al aumentar el contenido de humedad se reduce la elasticidad de la masa a través de la plastificación de la masa fundida, lo que se traduce en una reducción de la gelatinización, disminuyendo la expansión y aumentando la densidad aparente del extrudido

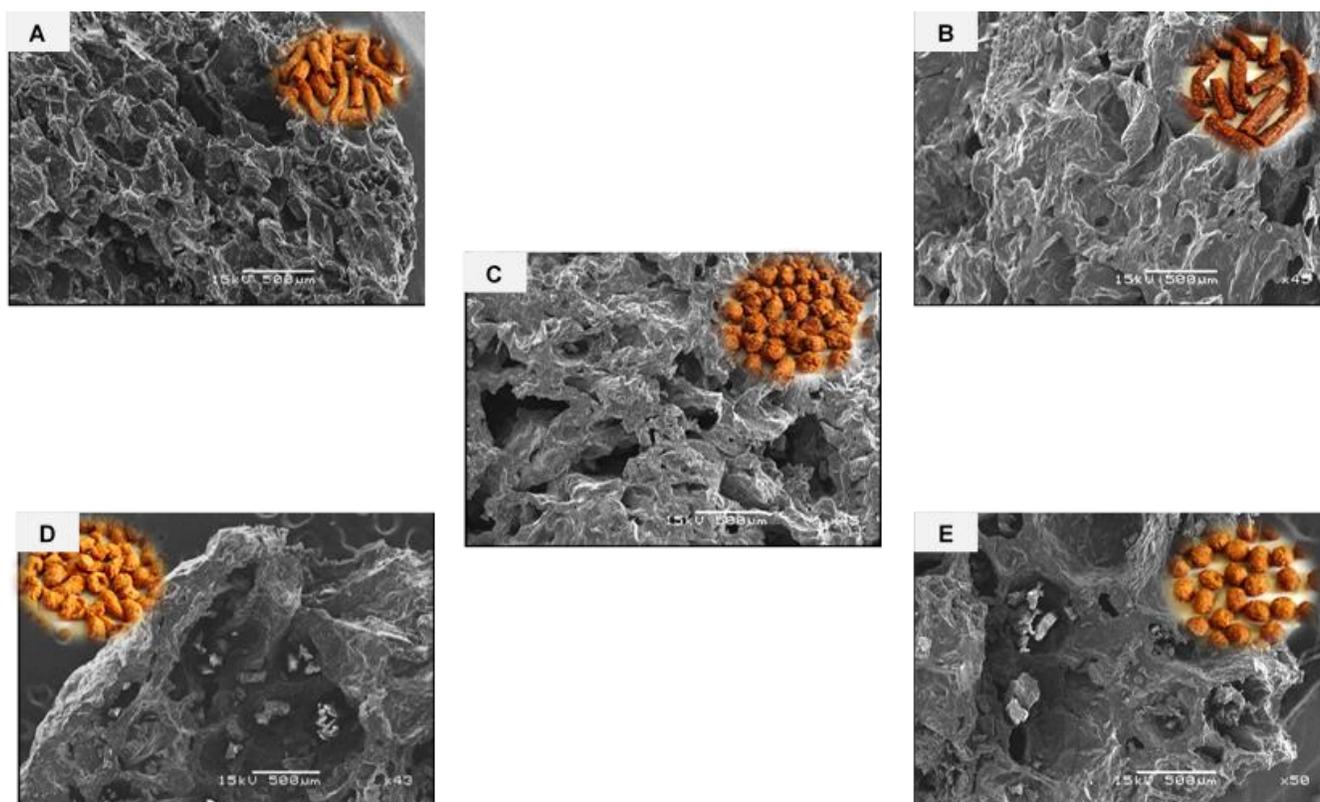
(Mercier y Feillet 1975). Resultados similares reportados en el presente trabajo fueron los conseguidos por Singh, *et al.* (2013) quienes desarrollaron aperitivos extrudidos a base de una mezcla de papa, arroz y garbanzo, obteniendo densidades aparentes de 0.27 y 0.34g/cm<sup>3</sup>, el valor más alto se obtuvo en aquellas muestras procesadas a una humedad alta (19.4%), los autores informaron que el aumento del contenido de humedad disminuyó el índice de expansión y aumento la densidad aparente. Estos autores reportaron que posiblemente el aumento del contenido de humedad durante la extrusión puede reducir la elasticidad de la masa mediante la plastificación del almidón, lo que reduce la energía mecánica específica y, por lo tanto, reduce la gelatinización, disminuyendo la expansión y aumentando la densidad aparente del extrudido. La relación de expansión y la densidad aparente, que son características importantes para los productos inflados extrudidos, se pueden controlar mediante la configuración de las condiciones de funcionamiento de la extrusión, incluidas las especificaciones de la materia prima. Por otro lado, se analizaron las propiedades de hidratación, mediante Índice de Solubilidad e Índice de Absorción de Agua. Estos dos parámetros son indicadores del nivel de daño ocurrido en el almidón del alimento durante el procesamiento por extrusión (Hernández-Díaz *et al.*, 2007). El índice de solubilidad en agua puede ser usada como un indicador de la degradación de las macromoléculas (proteínas y carbohidratos), midiendo la cantidad de elementos solubles del almidón después de la extrusión (Ding, *et al.*, 2005). Los valores obtenidos para ISA se encontraron en un rango de 32.3-49.1%. Los valores más altos fueron para el tratamiento 5 y más bajos para el tratamiento 2. Camacho-Hernández, *et al.*, (2014), observaron que al aumentar el contenido de humedad el ISA disminuía significativamente, esto en botanas expandidas a base de maíz azul y almidón de maíz. Esto puede deberse probablemente al hecho de que un aumento en la humedad de alimentación reduce la fricción de la masa en la extrusora, por lo que la fragmentación del material es limitada. Además, el efecto lubricante suministrado por el agua hace que la muestra pase más rápido a través del extrusor, y el efecto de cizallamiento del barril y el tornillo del extrusor no es lo suficientemente alto como para degradar el almidón en altos niveles, obteniendo un ISA menor como resultado. El ISA está relacionado con la cantidad de moléculas solubles, lo que está asociado con el aumento de la dextrinización (degradación de los componentes del almidón a cadenas más cortas) por la temperatura y esfuerzo de corte durante la extrusión. Ding, *et al.*, (2005) investigaron los efectos de la humedad, velocidad del tornillo y la temperatura en la propiedades funcionales y físicas de una botana de segunda generación a base de trigo producida con un extrusor de doble tornillo, estos autores encontraron que para el ISA la humedad y la temperatura tienen un efecto significativo, ya que al aumentar la humedad y la temperatura del barril disminuyó significativamente el ISA del extrudido de trigo. Este comportamiento lo atribuyeron al grado de gelatinización del almidón.

Charunuch, *et al.*, (2011), desarrollaron un cereal para desayuno a base de una mezcla de harina de distintos vegetales, variando el contenido de la mezcla de vegetales (8, 12 y 16%), la velocidad del tornillo (300, 350 y 400 rpm) y el contenido de humedad (13, 15 y 17%). Estos autores reportaron que la disminución en el contenido de humedad dio como resultado un producto extruido con mayor solubilidad en agua, esto atribuido a que existe una menor degradación del almidón provocado por un flujo mayor del material dentro del barril causando que la velocidad de extrusión disminuya. Como se puede observar el valor más alto se obtuvo para la formulación con un porcentaje de humedad más bajo, lo que indica que el estrés de cizalla generado por un contenido de humedad bajo aumentaría el daño en almidón, fibra y estructuras proteicas, lo que libera moléculas solubles (Jaques Fajardo, *et al.*, 2017).

El índice de absorción de agua (IAA), mide la cantidad de agua absorbida por el almidón y puede usarse como un índice de la gelatinización del almidón durante el proceso de extrusión (Anderson, *et al.*, 1969). Los valores de índice de absorción de agua estuvieron entre 2.8-4.2 g H<sub>2</sub>O/g (Tabla 1); el valor más bajo fue para el T4 y el más alto para el tratamiento 3. Este comportamiento puede deberse a la mayor proporción de harina de papa en las distintas formulaciones Allen, *et al.*, (2007), señalaron que la amilopeptina tiene mayor capacidad de absorción de agua con respecto a la amilosa, de tal manera que los almidones con alto contenido de este biopolímero presentan mayor IAA, como se puede observar en la Tabla 1, las formulaciones con mayor contenido de harina de *Oxalis tuberosa*, dieron como resultado una mayor absorción de agua.

La caracterización estructural se hizo por medio de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Las micrografías tomadas a los diferentes tratamientos obtenidos por extrusión se muestran en la Fig. 1. Como se puede observar el número y tamaño de poros formados durante el proceso de extrusión difiere entre cada una de las formulaciones y

se relaciona directamente con los resultados del índice de expansión. Un mayor número y tamaño de los poros da como resultado un índice de expansión elevado. El valor más alto de índice de expansión se obtuvo para el tratamiento 5, al observar la micrografía correspondiente a este tratamiento se distinguen poros más grandes y de una forma más definida. Por el contrario, los tratamientos con un menor índice de expansión exhiben poros de menor tamaño y forma heterogénea. Bisharat, *et al.*, (2013) Moreira, *et al.*, (2014) informaron que la expansión y la porosidad son el resultado de la presión interna de agua que se mantiene dentro de la matriz durante la gelatinización y se libera mientras el producto sale del dado. Extruidos más expandidos presentaron poros más grandes y paredes más delgadas, como fue informado por Bisharat, *et al.* (2013). Una muestra más expandida tenía una superficie más lisa, lo que indica una destrucción casi total de la estructura de los gránulos de almidón. Navarro-Cortez, *et al.*, (2014) y Sánchez-Madrigal, *et al.*, (2014) informaron que el almidón de extruidos más expandidos estaba altamente gelatinizado, siendo representado con una superficie más lisa.



**Figura 1.** Microestructura interna de los extruidos: **A) Tratamiento 1** (80% Oxalis tuberosa, 20% fibra, 20% humedad). **B) Tratamiento 2** (100% Oxalis tuberosa, 0% fibra, 20% humedad). **C) Tratamiento 3** (90% Oxalis tuberosa, 10% fibra, 17.5% humedad). **D) Tratamiento 4** (80% Oxalis tuberosa, 20% fibra, 13% humedad). **E) Tratamiento 5** (100% Oxalis tuberosa, 0% fibra, 13% humedad).

## CONCLUSIÓN

Aplicando la tecnología de extrusión fue posible obtener un cereal para desayuno a base de harina de *Oxalis tuberosa*, con características fisicoquímicas aceptables. Sin embargo, el contenido de humedad fue el principal factor que afectó significativamente las evaluaciones en los extruidos. La disminución del contenido de humedad (13%) aumentó los valores de IE e ISA, mientras que DA disminuyó.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen K., Carpenter C., Walsh M. (2007). Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 953–960.
- Anderson R., Conway H., Peplinski A. (1970). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch/Starkë*, 4, 130-135.
- Bisharata G., Oikonomopoulou V., Panagiotou N., Krokida M., Maroulis Z. (2013) Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 1–14.
- Brennan M., Monro J., Brennan C. (2008). Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 2278–2288.
- Camacho-Hernández I., Zazueta-Morales J.J, Gallegos-Infante J.A., Aguilar E., Rocha-Guzmán N.E., Navarro-Cortez R., Jacobo-Valenzuela N., Gómez-Aldapa C.A. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks, *CyTA – Journal of Food*, 12, 4, 320-330.
- Charunuch C., LimSangouan N., Waraporn PraSert W., ButSuWan P.(2011), Optimization of Extrusion Conditions for Functional Ready-to-Eat Breakfast Cereal, *Food Science and Technology Research*, 17 (5), 415–422.
- Ding Q., 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.
- Escalante-Aburto A., Ramírez B., Torres P., López J., Figueroa J., Barrón J., Morales I., Ponce N., Gutiérrez R. (2014). Obtaining Ready-to-Eat Blue Corn Expanded Snacks with Anthocyanins Using an Extrusion Process and Response Surface Methodology, *Molecules*, 19, 21066-21084.
- Guy y Horne. (1988). Extrusion and co-extrusion of cereals, *Food Structure - Its creation and evaluation*, 331-339.
- Hernández-Díaz J, Quintero-Ramos A., Barnard R., Balandrán-Quintana R. (2007) Functional Properties of Extrudates Prepared with Blends of Wheat Flour/Pinto Bean Meal with Added Wheat Bran, *Food science technology international*,13, 301-308.
- Jacques-Fajardo G., Prado-Ramírez R., Arriola E., Pérez Carrillo E., Espinosa H., Guatemala G. (2017) Physical and hydration properties of expanded extrudates from a blue corn, yellow pea and oat bran blend, *LWT-Food Science and Technology*, 84, 804-814.
- Kirby A., Ollett A., Parker R., Smith A. (1988) An Experimental Study of Screw Configuration Effects in the Twin Screw Extrusion Cooking of Maize Grits, *Journal of Food Engineering*, 247-272.
- Liu Y., Hsieh F., Heymann H., Huff H. (2000). Effect of Process Conditions on the Physical and Sensory Properties of Extruded Oat–Corn Puff, *Journal of Food science*, 65, 7, 1253-1259.
- Lo T., Moreira R., Castell M. (1998). Effect of operating conditions on melt rheological characteristics during twin-screw food extrusion. *Transactions of the ASAE*, 41, 1721–1728.
- Moreira E., Ramírez J., Wanderlei C., Yoshie C., Berrios J. (2014) Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend, *LWT - Food Science and Technology*, 58, 2 620-626.
- Mercier C., Feillet P. (1975). Modification of Carbohydrate Components by Extrusion-Cooking of Cereal Products, *Cereal chemistry*, 52, 283-97.

Navarro-Cortez R., Aguilar E., Zazueta J., Castro J., Hernández J., Gómez C., Aguirre F. (2014) Microstructure of an Extruded Third-Generation Snack Made from a Whole Blue Corn and Corn Starch Mixture, *International Journal of Food Processing Technology*, 1, 10-17.

Sánchez- Madrigal M., Meléndez C., Martínez F., Ruiz M., Quintero A., Márquez R., Lardizábal D., Campos K. (2014) Structural, functional, thermal and rheological properties of nixtamalised and extruded blue maize (*Zea mays L.*) flour with different calcium sources, *International Journal of Food Science and Technology* 49, 578–586.

Spence C. (2017). Breakfast: The most important meal of the day? *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 8, 1-6.

Thymi S., Krokida M., Pappa A., Maroulis Z. (2004). Structural properties of extruded corn starch, *Journal of food engineering*, 68, 519-526.

Wójtowicza A., Mitrus M., Oniszczyk T., Mościcki L., Kręcisz M., Oniszczyk A. (2015). Selected physical properties, texture and sensory characteristics of extruded breakfast cereals based on wholegrain wheat flour, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 301-308.

Zazueta-Morales J., Martínez- Bustos F., Jacobo- Valenzuela N. Ordorica- Falomir C. Paredes- Lopez O.(2006). Effects of Calcium Hydroxide and Screw Speed on Physicochemical Characteristics of Extruded Blue Maize, *Journal of food science*, 67, 9, 3350-3358.