

Artículo de Investigación

# Evaluación fisicoquímica de una mezcla de cereales matinales obtenidos por expansión

## Physicochemical evaluation of a mixture of breakfast cereals obtained by expansion

Tomás Galicia García<sup>1</sup>: Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

[tg Galicia@uach.mx](mailto:tg Galicia@uach.mx)

Laura Flick Tinoco: Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

[flickalau@hotmail.com](mailto:flickalau@hotmail.com)

Iván Estrada Moreno: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV-Chihuahua, México.

[ivan.estrada@cimav.edu.mx](mailto:ivan.estrada@cimav.edu.mx)

Yalery Leal Ramos: Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

[y leal@uach.mx](mailto:y leal@uach.mx)

Beatriz Portillo Arroyo: Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

[bportillo@uach.mx](mailto:bportillo@uach.mx)

Cesar Soto Figueroa: Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

[csotof@uach.mx](mailto:csotof@uach.mx)

Fecha de Recepción: 11/06/2024

Fecha de Aceptación: 20/11/2024

Fecha de Publicación: 28/01/2025

### Cómo citar el artículo

Galicia García, T., Flick Tinoco, L., Estrada Moreno, I., Leal Ramos, Y., Portillo Arroyo, B. y Soto Figueroa, C. (2025). Evaluación fisicoquímica de una mezcla de cereales matinales obtenidos por expansión [Physicochemical evaluation of a mixture of breakfast cereals obtained by expansion]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 01-13. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1180>

### Resumen

**Introducción:** La expansión es la característica más importante para los cereales inflados, que depende de varios factores, siendo las más importantes; el contenido nutricional y la naturaleza del proceso. **Metodología:** Las condiciones de carga, presión de vapor y presión

<sup>1</sup> Autor Correspondiente: Tomás Galicia García. Universidad Autónoma de Chihuahua. (México).

final a lo largo del proceso fueron definidas para cada cereal, encontrándose mejores resultados para las respuestas de rendimiento, densidad, índice de expansión y capacidad antioxidante. **Resultados y discusión:** Las variables de presión utilizadas en el diseño para expansión, si presentan un efecto significativo en rendimiento (89%) y densidad, siendo mayor en trigo (1,29 g/L). Los cereales, sin expandir y expandidos, presentan diferencias significativas, debido al tratamiento de alta temperatura y presión al que fueron sometidos, presentándose mayores valores en arroz (0,95). El proceso de expansión disminuye el contenido de proteína y grasa, mientras el contenido de carbohidratos se vio incrementado. La capacidad antioxidante resultó con una diferencia significativa para antes y después de la expansión, perdiendo entre el 70 y 85 % de su capacidad antioxidante. **Conclusión:** Las condiciones de expansión, por medio de la técnica de inflado en cañón bajo las condiciones de proceso establecidas fueron las más adecuadas para lograr formulación deseada (50% trigo, 25% avena y 25% arroz).

**Palabras clave:** cereal matinal, expansión, mezcla de cereales, caracterización fisicoquímica, arroz, trigo, avena, capacidad antioxidante.

### Abstract

**Introduction:** Expansion is the most important characteristic for puffed cereals, which depends on several factors, the most important being; the composition in terms of its nutritional content and the nature of the process. **Methodology:** The loading conditions, vapor pressure and final pressure throughout the process were defined for each cereal, finding better results for the responses of yield, density, expansion index and antioxidant capacity. **Results and Discussions:** The pressure variables used in the design for individual expansion do present a significant effect in terms of yield (89%) and density, being greater in wheat (1,29 g/L). Unexpanded and expanded cereals, present significant physical and chemical differences, due to the high temperature and pressure treatment to which they were subjected, with higher values in rice (0,95). The expanding process decrease in protein and fat was found, while the carbohydrate content increased. The antioxidant capacity resulted in a significant difference before and after expansion in each cereal, losing between 70 and 85% of its antioxidant capacity. **Conclusion:** The expansion conditions, through the cannon inflation technique under the established process conditions, were the most appropriate to achieve the desired formulation (50% wheat, 25% oats and 25% rice).

**Keywords:** breakfast cereal, expansion, cereal mixture, physicochemical characterization, rice, wheat, oats, antioxidant capacity.

## 1. Introducción

Hoy en día los cereales matinales son consumidos principalmente durante el desayuno, considerado como el tiempo de comida más importante del día y una opción práctica para su consumo, son precisamente los cereales para desayuno, los cuales se desarrollaron hace poco más de 100 años. Definidos como granos procesados utilizados para el consumo humano que pueden ser endulzados y fortificados. Los más utilizados en esta industria son el trigo, el arroz y el maíz (Papageorgiou y Skendi, 2018).

El trigo es de las primeras plantas cultivadas históricamente, contienen muchos nutrientes a los cuales se les confieren múltiples beneficios, por ejemplo, aporta carbohidratos que brindan una cantidad importante de energía, también tiene un alto aporte de proteínas además de grasas insaturadas, posee propiedades antioxidantes por su aporte de selenio y vitamina E. El contenido de vitaminas del complejo B, favorece a la salud de nuestra piel, tejidos musculares y nerviosos, además de contener fibra que ayuda a combatir el estreñimiento y otras

enfermedades intestinales (Ruiz-Roso, 2015). Es muy importante tener en cuenta el consumo del trigo integral ya que, al refinarlo, eliminamos muchos de sus grandes beneficios para la salud. La avena es el cuarto cereal más producido en México, es una buena fuente de energía, contiene fibra insoluble y soluble, rica en  $\beta$ -glucanos. Además, contiene ácido ferúlico y otros compuestos antioxidantes fenólicos, tiene seis de los ocho aminoácidos esenciales, vitaminas como la E, B1, B2 y minerales como el calcio, hierro, zinc, fósforo y magnesio, estas son algunas razones por las que la avena es el cereal más completo. Su consumo ayuda a mantener la salud gastrointestinal, combate problemas como el estreñimiento, reduce el colesterol en la sangre y previene las enfermedades cardiovasculares (Lal et al., 2021). En lo que respecta al arroz, este cereal contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de la dieta humana actual, tiene aproximadamente el 2,5 % de grasa, pero un gran aporte de vitaminas y minerales como niacina, vitamina D, calcio, hierro, tiamina y riboflavina que ayudan en la activación del metabolismo, mejora el sistema inmunológico y el funcionamiento de los órganos. Es alto en fibra soluble y puede proteger contra enfermedades del corazón, contiene compuestos antioxidantes y ayuda al cuidado de la piel (Rosiles, 2018).

Dentro de las alternativas de los cereales para desayuno, se encuentran los elaborados con la técnica de expandido. Los granos pueden ser inflados de diversas maneras, manipulando diferentes variables como humedad, temperatura, tiempo y presión en el equipo adecuado; siendo las más utilizadas, la extrusión, el horno y la cámara de inflado. La principal diferencia entre obtener un cereal expandido por extrusión o en cañón, radica en que la extrusión utiliza la harina de cereales para obtener el producto, en cambio, el cañón transforma el grano entero. La expansión es la característica más importante para los cereales inflados, que depende de varios factores, siendo las más importantes; la composición en cuanto a contenido de almidón y la naturaleza del proceso (Quispe, 2022).

El objetivo del presente trabajo fue establecer las condiciones de proceso para la elaboración de un cereal matinal a partir de trigo, arroz y avena en una máquina de inflado, así como su caracterización fisicoquímica

## 2. Metodología

### 2.1. Materias primas

Para este estudio se utilizaron granos de: trigo (*Triticum vulgare*), arroz integral (*Oryza sativa*), y avena (*Avena sativa*), provenientes del estado de Sonora (México), los cuales fueron proporcionados por la empresa Productos Chachitos S.A. de C.V establecida en la ciudad de Chihuahua (México).

### 2.2 Caracterización de la materia prima

#### 2.2.1 Análisis proximal

Este análisis se realizó con base en los métodos reportados por la AOAC (1998), mediante los cuales se determinó la cantidad de humedad (991.86), de proteínas (923.04), de grasas (920.85), de cenizas (936.08), de fibra cruda (920.86) y de carbohidratos (921.15). Los datos obtenidos fueron comparados con las determinaciones realizadas al producto expandido.

### 2.3. Proceso tecnológico de Expansión de los cereales

Para encontrar las condiciones preliminares para el proceso, se realizó la expansión de manera individual de los cereales (trigo, arroz y avena) cada uno con condiciones diferentes

previamente seleccionadas de acuerdo a antecedentes y ensayos preliminares. Cada uno de los granos fueron previamente inspeccionados en base a la NMX - FF- 036-32 (2019), en su contenido de humedad y materia extraña. Posteriormente se sometió cada lote a tres secciones de limpieza donde fueron eliminadas las impurezas. Una vez el grano limpio se depositó en una cámara infladora según las especificaciones para cada cereal (9, 10 y 11 kg de carga), se agregaron 10 g de sal antes de ser cerrada y sellada la cámara, ya en movimiento (sobre su propio eje) los granos son humectados con vapor hasta alcanzar la presión inicial determinada presión, la cual es controlada con un manómetro digital, a esta se le llama presión inicial (110 lb/pg<sup>2</sup>), el calor sigue proporcionándose hasta alcanzar la presión final (160 a 200 lb/pg<sup>2</sup>), por último la cámara es abierta de golpe, liberando el cereal repentinamente y así, el cambio inmediato de presión origina la expansión del grano. Finalmente el grano inflado es tamizado (malla 4,7mm para trigo, y malla de 4mm para avena y arroz). El producto fue almacenado en bolsas herméticas hasta su uso.

## 2.4. Caracterización de los cereales inflados

### 2.4.1. Rendimiento

Se tomó el peso en una balanza (Ohaus corp, modelo Adventure TM, China) de la cantidad de grano de cereal que se va a inflar (peso inicial), después del proceso de inflado se pesa el cereal expandido (peso final) y el rendimiento se calcula dividiendo el peso inicial entre el final x 100, siendo esto expresado en porcentaje. Este análisis se realizó por triplicado.

### 2.4.2. Densidad

Para la determinación de densidad de los granos inflados se siguió la metodología adaptada de la NMX- FF - 036, (2019) usando una balanza analítica (Ohaus corp, modelo AdventureTM, China), donde se tomó una muestra del producto terminado en un contenedor de un litro y registrar el peso obtenido realizando 5 repeticiones de este procedimiento a la formulación del cereal. Las unidades usadas para densidad fueron kg/L.

### 2.4.3. Índice de expansión

El índice de expansión (IE) se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Anchondo-Trejo et al., (2021). Se determinó el tamaño medio (TMP) de 50 granos sin inflar e inflados. El IE fue determinado mediante la siguiente ecuación (Ec 1):

$$IE = \frac{TMP2 - TMP1}{TMP1} \dots (Ec 1)$$

Dónde:

TMP2 = Tamaño medio de partícula del grano inflado.

TMP1 = Promedio del tamaño medio de partícula de los granos sin inflar.

### 2.4.4. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se midió usando el método desarrollado por Gulcin (2005) del radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), el cual se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH por antioxidantes. Se colocaron 0,1 mL del extracto en tubos de ensaye y se les agregó 3,9 mL de solución de DPPH 60 µM en metanol. Se agitaron vigorosamente y se mantuvieron en la oscuridad durante 3h, después se midió la

absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro Perkin-Elmer (modelo Lambda 25 UV/VIS, EUA.). Los resultados se expresaron en  $\mu$ moles equivalentes de trolox por gramo de muestra ( $\mu$ moles ET/g). Dicha determinación se realizó por triplicado para cada extracto.

## 2.5. Diseño experimental y análisis de datos

El análisis de la materia prima se realizó a través de la determinación de la desviación estándar de los datos y comparación de medias a través de prueba Tukey. Para el proceso de inflado se utilizó un diseño de una vía, las variables independientes usadas fueron: carga, presión de vapor y presión final. En ambos casos (materia prima y producto inflado) los resultados fueron analizados usando el programa estadístico Minitab 17 con una significancia de ( $p < 0,05$ ).

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Análisis proximal

En la Tabla 1 se puede observar comparativamente la composición química del trigo, arroz y avena como materia prima y el producto expandido. Se observa una diferencia de humedad significativa ( $p < 0,05$ ), para los diferentes granos como materia prima, en mayor cantidad para el arroz seguido del trigo y por último la avena, después del tratamiento, se obtuvo una reducción del 23,1%, 7,85% y 27,9 % respectivamente siendo en todos los casos reducciones significativas con respecto a la materia prima ( $p < 0,05$ ). Esta un factor clave para lograr un producto de cereales expandidos, se requiere una concentración aproximada del 15% de humedad para lograr que el grano reviente. El contenido de humedad puede variar debido a diferentes factores como genotipo, variación en las condiciones ambientales del cultivo o almacenamiento (Ferrari, 2021).

**Tabla 1.**

*Caracterización química de los granos de trigo, arroz y avena crudos y expandidos*

	TG <sup>1</sup> (%)	TE (%)	AG <sup>2</sup> (%)	AE (%)	AVG <sup>3</sup> (%)	AVE (%)
P	10,93 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	9,01 $\pm$ 0,31 <sup>b</sup>	8,76 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	5,76 $\pm$ 0,75 <sup>d</sup>	12,43 $\pm$ 2,08 <sup>a</sup>	11,47 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>
G	4,59 $\pm$ 0,50 <sup>b</sup>	0,17 $\pm$ 0,45 <sup>d</sup>	0,86 $\pm$ 0,36 <sup>d</sup>	0,83 $\pm$ 0,085 <sup>d</sup>	7,1 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>	2,43 $\pm$ 0,71 <sup>c</sup>
C	56,9 $\pm$ 0,26 <sup>c</sup>	77,06 $\pm$ 2,5 <sup>ab</sup>	74,1 $\pm$ 0,32 <sup>ab</sup>	81,48 $\pm$ 3,01 <sup>a</sup>	55,7 $\pm$ 0,29 <sup>c</sup>	72,2 $\pm$ 2,27 <sup>b</sup>
H	6,49 $\pm$ 0,36 <sup>bc</sup>	5,98 $\pm$ 0,49 <sup>c</sup>	9,01 $\pm$ 0,44 <sup>a</sup>	6,92 $\pm$ 0,55 <sup>bc</sup>	5,52 $\pm$ 0,44 <sup>b</sup>	5,27 $\pm$ 0,40 <sup>c</sup>
F	2,6 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	1,52 $\pm$ 0,10 <sup>bc</sup>	2,47 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	0,87 $\pm$ 0,12 <sup>c</sup>	5,7 $\pm$ 0,36 <sup>a</sup>	2,64 $\pm$ 0,33 <sup>b</sup>
E	1,49 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	1,74 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	1,46 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>	1,64 $\pm$ 0,21 <sup>a</sup>	1,8 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	2,38 $\pm$ 0,29 <sup>a</sup>

P: proteínas; G: grasas; C: carbohidratos; H: humedad; F: fibra; E: Cenizas. TG: grano de trigo; TE: trigo expandido; AG: grano de arroz; AE: arroz expandido; AVG: grano de avena; AVE: avena expandida.

Las comparaciones de medias están hechas para cada tipo de nutriente, medias con letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

**Fuente:** Elaboración propia.

Los porcentajes de proteína obtenidos coinciden con los reportados por Manobanda (2017) y Vázquez (2011). Se encontró un mayor porcentaje en la avena seguido por el trigo y finalmente el arroz. El proceso de expansión tuvo efecto sobre la proteína reduciendo significativamente su contenido ( $P < 0,05$ ) sobre los tres cereales, disminuyendo en un 17,5 % en el caso del trigo, en un 32,23 % en el caso del arroz y un 19,76% en el caso de la avena. Egas (2010), menciona que temperaturas aproximadas a los 100 °C promueven la desnaturalización de las proteínas, además de poder ocurrir la reacción de Maillard con la influencia de azúcares reductores (Quispe, 2022). El contenido de grasa se concentra principalmente en el germen del grano (Vázquez, 2011). Se observa una diferencia significativa en el contenido de este nutriente en el caso de los 3 cereales ( $p < 0,05$ ), en la avena es más abundante que en el trigo y el arroz, coincidiendo de manera similar por el estudio de Pincioli, (2010). Esta es una característica importante a tomar en cuenta para la expansión ya que la grasa puede interactuar con otros compuestos del grano como proteínas o carbohidratos restringiendo el inflado (Mor-Mur, 2014). En el caso del trigo y la avena hubo una reducción significativa por el efecto de la expansión disminuyendo en un 31,37% y 34,22% respectivamente, en el caso del arroz no se encontró diferencia significativa, pudiendo ser la razón el contenido original tan escaso.

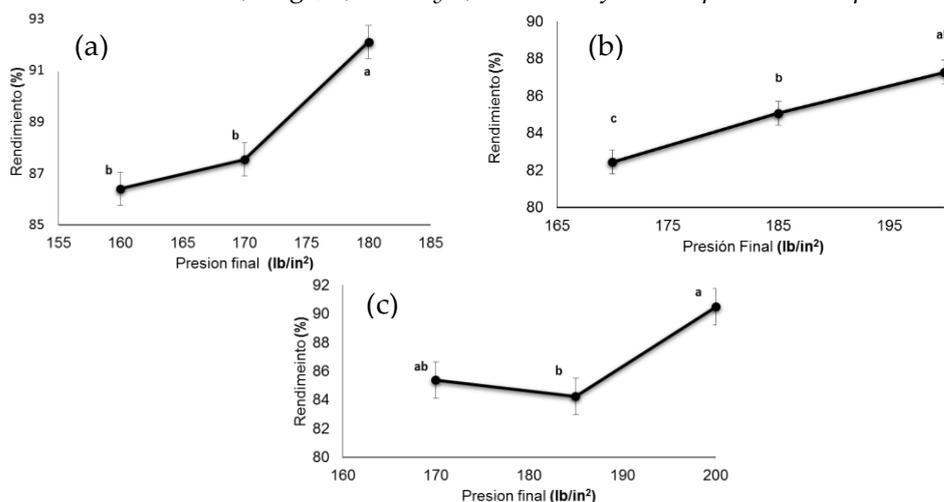
El análisis proximal muestra en cuanto a la materia prima, que la avena es el que contiene significativamente más fibra que el arroz y el trigo y sin diferencias significativas entre estos dos. En el caso del arroz y la avena, el proceso de expansión tuvo un efecto reductor significativo en la fibra con un 64,77% y 54,38% respectivamente. Esto puede ser ocasionado por el desprendimiento del pericarpio al momento de la repentina expansión del grano. En el caso los carbohidratos, el macronutriente más abundante en los cereales, se observa con mayor proporción en el arroz seguido por el trigo y la avena. Pincioli, (2010) reporta cantidades semejantes. Al contrario de los demás nutrientes, los carbohidratos se concentraron, debido a la reducción de los demás nutrientes, en el caso del trigo hubo un aumento del 26%, en el caso de la avena 30% y en el caso del arroz del 9%. Egas, (2010), menciona que durante el proceso de expansión ocurren cambios en la estructura micro y macromolecular del almidón y debido a esto incrementa el volumen y la superficie, hay modificación de la cristalinidad por efecto de la gelatinización y rompimiento de las cadenas de amilosa amilopectina. Para cenizas, En este estudio no hubo diferencias significativas entre el contenido de ceniza entre los diferentes cereales y tampoco bajo el tratamiento de expansión, lo cual es inesperado ya que al perder parte de la cascara del grano se pierden minerales importantes que la conforman

### **3.2. Rendimiento**

Para estos tratamientos se encontró una mejor respuesta, ya que, al hacer la mezcla con las respectivas proporciones de cada grano, el rendimiento final del cereal llegó a un 89%, incrementando considerablemente y superando el mínimo pedido por la empresa (85%). En las Figura 1 se muestra el rendimiento de los diferentes cereales con sus respectivas condiciones de expansión. En los tres casos (Figura 1a, 1b y 1c), se puede observar con diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), una tendencia a aumentar conforme la presión final aumenta, en el caso de la avena y el arroz las condiciones más altas de presión final fueron seleccionadas siendo 200 lb/pg<sup>2</sup> en ambos casos para la elaboración del producto final, por el contrario, en el caso del trigo 170 lb/pg<sup>2</sup> fue seleccionada a pesar de no ser la que obtuvo el mayor rendimiento, esto debido a que a mayor presión final la expansión de trigo supera por mucho en tamaño a los otros dos granos, haciendo una mezcla menos uniforme.

**Figura 1.**

Gráficos de rendimiento de a) trigo, b) arroz y c) avena a diferentes presiones de proceso



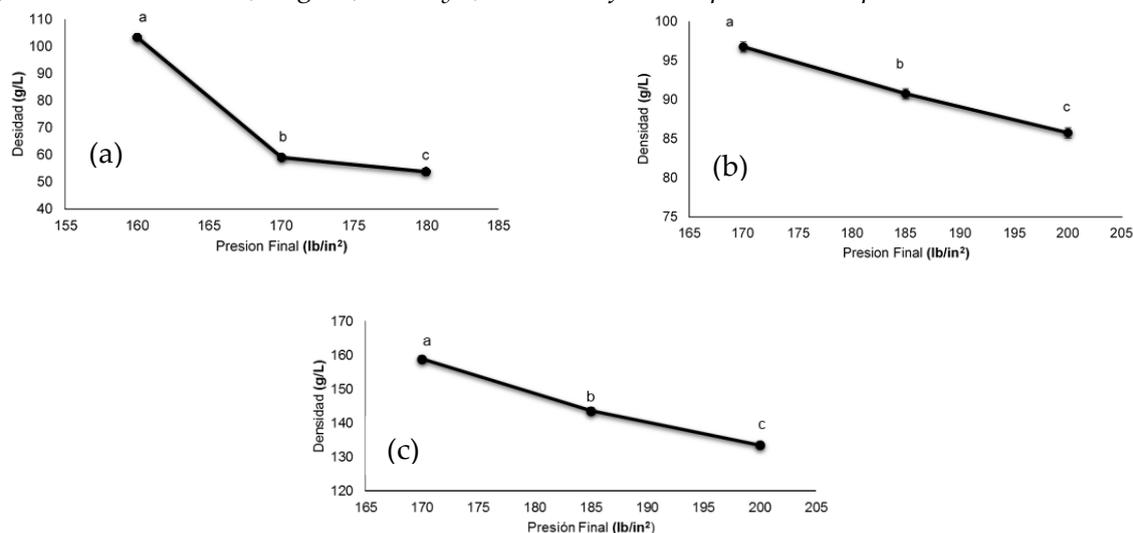
### 3.3. Densidad

En la Figura 2 se observa la respuesta de densidad de trigo, arroz y avena (Figura 2a, 2b y 2c) respectivamente, expandidos por separado y cada uno con respectivas condiciones de proceso. Se pueden observar diferencias significativas para cada cereal en cuanto a condiciones establecidas y tipo de cereal, se observa que la avena es el cereal más denso (120g/L), seguido del arroz (85 g/L) y por último el menos denso, el trigo (60 g/L), lo cual se relaciona con el índice de expansión, ya que la avena fue la que menor valor obtuvo (0,4), seguida del arroz (0,95) y el trigo el que mayor índice obtuvo (1,23), a mayor índice de expansión menor densidad ya que al expandirse genera espacios vacíos ocupando más volumen con menor cantidad de masa.

La densidad del producto terminado es aproximadamente de 100 g/L tomando en cuenta las condiciones seleccionadas para cada uno, y un rendimiento del 89% considerando la proporción de cada cereal.

**Figura 2.**

Gráficos de densidad de a) trigo, b) arroz y c) avena a diferentes presiones de proceso



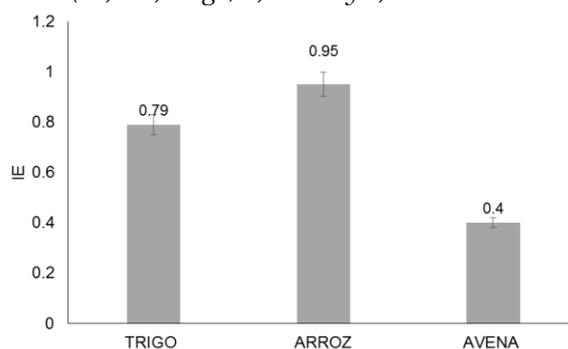
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Índice de Expansión

En la Figura 3 se puede observar la comparación del índice de expansión entre materia prima y cereal expandido mostrando diferencias significativas, en el caso de la avena, es la que menor índice de expansión logra, este cereal se caracteriza por un mayor contenido de proteínas y por tener de 2 a 5 veces más lípidos que los otros cereales (Aldaz & Tantalean, 2019). Estos dos nutrientes pueden formar complejos inhibiendo la expansión (Mor-Mur, 2014), sin embargo en el expandido de manera individual se observó un valor de  $0,4 \pm 0,15$ . En el caso del arroz se observa que en la expansión ( $0,95 \pm 0,22$ ) se logra un mayor tamaño en la longitud y espesor, pero un mayor valor en anchura, esto último es debido a que el arroz se abre perdiendo su forma, característica que es indeseable. El almidón juega un papel importante, ya que es el mayor componente de los cereales y está constituido de diferente manera en cada uno de los granos, además los gránulos de almidón son diferentes en cada caso en cuanto a tamaño, forma y proporción amilosa/amilopectina y esto será factor clave para la absorción de agua, que a su vez es de suma importancia para lograr la humedad suficiente que genere la expansión. En el caso del trigo se obtuvo un índice de expansión de  $0,79 \pm 0,29$  y fue posible ajustar las condiciones de proceso al reducir un poco su tamaño para lograr una mayor uniformidad con los otros dos cereales. En la Figura 4 se pueden apreciar las diferencias del expandido individual en cada uno de los cereales comprobando lo antes mencionado.

**Figura 3.**

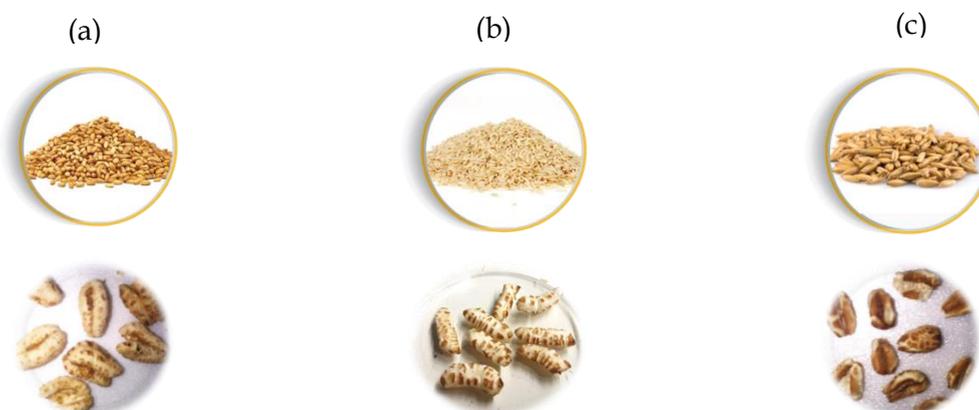
Gráfico de índice de expansión (IE) e a) trigo, b) arroz y c) avena



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.**

Cereales sin expandir y expandidos. a) trigo, b) arroz y c) avena



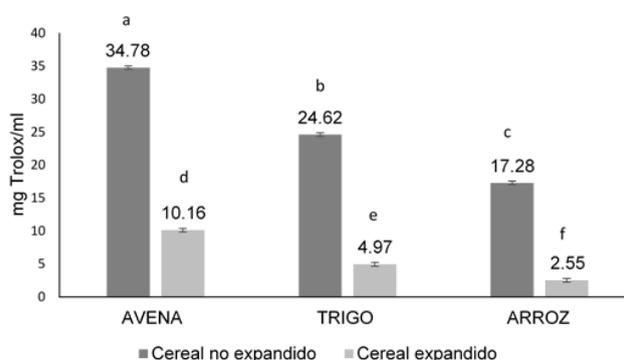
Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante de los cereales antes y después de la expansión se observa en la Figura 5, donde el análisis estadístico mostro que la capacidad antioxidante es estadísticamente diferente en cada tipo de cereal ( $p < 0,05$ ), además de un efecto negativo después de someterse al proceso de expansión, donde se puede apreciar una disminución significativa ( $p < 0,05$ ) de la capacidad antioxidante para los tres tipos de cereal. Se observa la capacidad antioxidante de la avena con  $34,78 \mu\text{molTrolox/g}$ , que fue mayor a los otros dos cereales con  $24,62$  y  $17,28 \mu\text{molTrolox/g}$ , para trigo y arroz respectivamente, en la comparación con los cereales expandidos, la avena mantuvo un 32% de su capacidad antioxidante, 22% el trigo 14% para el arroz. El tratamiento térmico y de altas presiones juega un papel importante en la pérdida de capacidad antioxidante de los cereales expandidos ya que, por su efecto, durante el proceso se pierde parte importante del pericarpio del grano, zona en donde se encuentra gran parte de la fibra cruda de los cereales, donde según Villanueva (2012), es aquí donde se encuentra el poder antioxidante principalmente, pudiendo atribuir la pérdida del pericarpio a disminución de capacidad antioxidante en los granos expandidos. Rocha-Guzmán et al. (2012), reporta que el poder antioxidante de este cereal se encuentra principalmente en la fibra cruda y soluble, y que en productos secos con salvado de avena se han observado valores altos de ácido ferúlico, ácido  $\beta$  hidroxibenzoico, ácido vainillínico y ácido fítico entre otros que dan efecto protector antioxidante durante los procesos térmicos y durante el almacenamiento.

**Figura 5.**

*Actividad antioxidante de los tres cereales antes y después de la expansión. Se reporta en  $\mu\text{molTrolox/g}$*



a-f Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes de acuerdo a prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4. Conclusiones

Del presente trabajo se concluye que fue posible establecer las condiciones de proceso para la expansión individual de trigo, avena y arroz. La uniformidad en la expansión en trigo se alcanzó al reducir la presión final. Los rendimientos obtenidos en el proceso de expansión son superiores a los estándares industriales. El contenido de proteína y grasa de los cereales expandidos disminuyó en comparación con los cereales sin expandir. Debido al desprendimiento del pericarpio del grano durante el proceso se redujo la capacidad antioxidante del cereal expandido. El mix de cereales obtenidos presenta una opción potencial

en la diversificación de cereales matinales. En futuros trabajos se dará continuidad con la caracterización morfológica del grano, así como la tasa de absorción, vida de anaquel y evaluación sensorial de la mezcla optimizada.

## 5. Referencias

- Aldaz F.A. M. y Tantaleán B. M. (2019). *Efecto de la proporción de avena (Avena sativa), cochayuyo (Chondracantus chamissoi) y macambo (Theobroma bicolor) en el valor nutricional y análisis sensorial de una barra energética* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional UNPRG. <http://repositorio.unprg.edu.pe>
- Anchondo-Trejo, C., Loya-Carrasco, J. A., Galicia-García, T., Estrada-Moreno, I., Mendoza-Duarte, M., Castellanos-Gallo, L., Portillo-Arroyo, B. y Soto-Figueroa, C. (2021). Development of a third generation snack of rice starch enriched with nopal flour (*Opuntia ficus indica*). *Molecules*, 26(1), 54. <https://doi.org/10.3390/molecules26010054>
- Association of Official Analytical Chemist, AOAC. (1998). *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg. AOAC.
- Egas, L., Villacrés, E. y Salazar, D. (2010). Elaboración de un Cereal Para Desayuno con Base en Quinoa Expandida. *Revista Tecnológica ESPOL*, 23(2), 9-15.
- Gulcin, I. (2005). Antioxidants and antioxidant methods: An update overview. *Archives of toxicology*, 94(3), 651-715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Lal, M. K., Singh, L., Sharma, S., Singh, M. P. y Kumar, A. (2021). Glycemic index of starch crops and factors affecting its digestibility: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 111, 741-755. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.067>
- Manobanda Jiménez, G. E. (2017). *Estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de arrozillo en la producción de pan*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec>
- Mor-Mur, M. (2014). Alimentos tratados por alta presión. Aspectos nutricionales. *Actividad Dietética*, 14(2), 53-58. [https://doi.org/10.1016/S1138-322\(10\)70011-0](https://doi.org/10.1016/S1138-322(10)70011-0)
- Norma Mexicana NMX-FF-036-SCFI. (2019). Productos alimenticios para uso humano-cereales-trigo (*Triticum aestivum*, *Triticum durum*)- especificaciones. Diario Oficial de la Federación, 17 de julio de 2020, pp 1-14. <http://dof.gob.mx>
- Papageorgiou, M., Skendi, A. (2018). Introduction to cereal processing and by-products. En C. M. Galanakis (Ed). *Woodhead Publishing series in Foods Science, Technology and nutrition* (pp 1-25). Woodhead Publishing.
- Pincioli, M. (2010). *Proteínas del Arroz; Propiedades Estructurales y Funcionales*. CIDCA.
- Quispe, B. N. (2022). *Efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) expandida* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional UNH. <http://apirepositorio.unh.edu.pe/>

- Rocha-Guzmán, N. E., Medina-Medrano J. R., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Maldonado, H. y González-Herrera, S. M. (2012). Chemical evaluation, antioxidant capacity, and consumer acceptance of several oak infusions. *Journal of Food Science*, 77, 162-166. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02524.x>
- Rosiles, J. R. (2018). *Análisis microbiológico de pastas de sémola de trigo de marca libre*. [Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional BUAP. <http://repositorioinstitucional.buap.mx>
- Ruiz-Roso, C. B. (2015). Beneficios para la salud digestiva del salvado de trigo, evidencias científicas. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1), 41-45. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.sup19478>
- Vázquez, L. (2011). *Análisis fisicoquímico de variedades de trigo antes y después del proceso de inflado*. (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua.
- Villanueva Flores, R. (2012). *Compuestos importantes para la salud*. (Tesis de licenciatura) Universidad de Lima. Lima.

## CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

**Conceptualización:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura **Software:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura **Validación:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura **Análisis formal:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura; **Curación de datos:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura; **Redacción-Preparación del borrador original:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura **Redacción-Re- visión y Edición:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura **Visualización:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura **Supervisión:** Galicia García Tomás; **Administración de proyectos:** Galicia García Tomás; **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Galicia García Tomás; Flick Tinoco Laura; Estrada Moreno Iván; Leal Ramos Yarely; Portillo Arroyo Beatriz; Soto Figueroa Cesar.

**Agradecimientos:** Al Consejo nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por la beca de manutención de Maestría a la M.C. Laura Flick Tinoco.

## AUTOR/ES

### **Tomás Galicia García**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, actualmente se desempeña como Académico Titular C, cuenta con Perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando temas referentes a la elaboración de materiales de pared para la obtención de microcápsulas, desarrollo de coberturas y películas comestibles, desarrollo de botanas saludables de 2da generación (directamente expandidas) y 3ra generación (laminadas-expandidas), desarrollo de productos libres de gluten (botanas, pasta, pan, galletas), aislamiento y modificación de almidón.

[tgalicia@uach.mx](mailto:tgalicia@uach.mx)

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-4763-7880>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36450645900>

### **Laura Flick Tinoco**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. El presente trabajo es parte de su tesis de grado titulada: "Elaboración y caracterización de un cereal para desayuno con base en un mezcla de trigo, arroz y avena expandidos"

[flickalau@hotmail.com](mailto:flickalau@hotmail.com)

### **Iván Estrada Moreno**

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV-Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Ciencia de los Materiales en CIMAV-Chihuahua, actualmente es profesor investigador de esta institución. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación, destacando: la caracterización de materiales y desarrollo de biosensores.

[ivan.estrada@cimav.edu.mx](mailto:ivan.estrada@cimav.edu.mx)

### **Yalery Leal Ramos**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Filosofía con especialidad en Alimentos en la Universidad Autónoma de Chihuahua, actualmente se desempeña como Académico Titular C, cuenta con Perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando los temas de Tecnologías convencionales y alternativas para el procesamiento de alimentos y Química y Bioquímica de alimentos de origen animal.

[yreal@uach.mx](mailto:yreal@uach.mx)

### **Beatriz Portillo Arroyo**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de maestría en Nutrición en la Universidad de Durango, actualmente se desempeña como Académico y cuenta con Perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando los temas de Química clínica y nutrición humana.

[bportillo@uach.mx](mailto:bportillo@uach.mx)

**Cesar Soto Figueroa**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Realizó sus estudios de doctorado en Ciencia de los Materiales en la Universidad Autónoma de México, actualmente se desempeña como Académico Titular C, cuenta con Perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha participado en diferentes proyectos de investigación destacando los temas de química y modelación molecular.

[csotof@uach.mx](mailto:csotof@uach.mx)