

# Caracterización Física mediante Análisis de Imágenes de Donas Veganas de Cocoa

## Physical Characterization Through Image Analysis of Vegan Cocoa Donuts

Daniela Robles Fragoso<sup>a</sup>, Ana Belen Espinoza Amador<sup>b</sup>, Blanca Azalia López Hernández<sup>c</sup>, Jair Emmanuel Onofre Sánchez<sup>d</sup>, Judith Alejandra Velázquez Castro<sup>e</sup>, Nayeli Vélez Rivera<sup>f</sup>

---

**Abstract:**

Physical characterization is essential for bakery products, which determines quality parameters such as color and texture. However, difficulties arise due to the high cost of traditional methodologies. In this regard, image analysis emerges as an effective tool for the physical characterization of this type of food. In this study, vegan cocoa donuts were physically characterized using image analysis. For their production, all animal-based ingredients and eggs were replaced with soy, flaxseed, and chia. The results showed that the color variation was attributed to the donut containing chia due to the dark hue characteristic of this seed. Finally, fractal dimension analysis revealed the softness of the crumb corresponding to conventional donuts.

**Keywords:**

Physical characterization, donuts, image analysis

---

**Resumen:**

En los productos de panificación es esencial realizar la caracterización física que determina los parámetros de calidad como son el color y la textura, sin embargo, se presentan dificultades debido al costo elevado de las metodologías tradicionales empleadas. En este sentido, el análisis de imágenes surge como una herramienta eficaz para la caracterización física de este tipo de alimentos. En el presente trabajo, se caracterizó de manera física las donas de cacao veganas, mediante análisis de imágenes. Para su elaboración, se sustituyeron todos los insumos de origen animal y el huevo por soya, linaza y chía. Los resultados mostraron que la variación en el color se atribuyó a la dona con chía debido al tono oscuro característico de esta semilla. Finalmente, el análisis de dimensión fractal reveló la suavidad de la miga correspondiente a las donas convencionales.

**Palabras Clave:**

Caracterización física, donas, análisis de imágenes.

---

## Introducción

El veganismo se define como un régimen alimentario que prescinde de insumos de origen animal y sustenta un modelo de consumo orientado hacia la sostenibilidad ambiental. Este paradigma se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 e la

Organización de las Naciones Unidas (ONU), los cuales integran lineamientos relacionados con la preservación del medio ambiente, la protección animal, la salvaguarda de los derechos laborales humanos y la promoción de consumo responsable [1].

---

a, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0009-0001-8719-5917>, Email: ro419372@uaeh.edu.mx

b, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0009-0009-6619-5430>, Email: es435599@uaeh.edu.mx

c, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-4238-1246>, Email: blanca\_lopez@uaeh.edu.mx

d, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-9484-8947>, Email: jair\_onofre6570@uaeh.edu.mx

e, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-7138-9293>, Email: judith\_velazquez@uaeh.edu.mx

f, Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-6890-2340>, Email: nayeli\_velez@uaeh.edu.mx

En este contexto, los productos de panificación veganos constituyen una alternativa sustentable, aunque su evaluación requiere una caracterización integral de tipo nutricional y físico. Esta última suele presentar limitaciones metodológicas asociadas a los costos elevados de las técnicas tradicionales empleadas [2-4].

En los últimos años, el análisis de imágenes ha emergido como una herramienta no invasiva y de alta precisión para la predicción de parámetros críticos en productos de panificación. Dicho enfoque ha demostrado utilidad en la estimulación de atributos cromáticos, así como en la determinación de propiedades viscoelásticas y mecánicas, incluyendo dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Estas propiedades se encuentran estrechamente vinculadas con la percepción sensorial visual y táctil, incidiendo directamente en la evaluación de la textura superficial de los alimentos [1,2].

Asimismo, métricas texturales como la energía, la entropía, el contraste y la dimensión fractal han mostrado correlación significativa con los perfiles texturales obtenidos mediante análisis instrumentales convencionales en productos de panificación [3,4].

Las metodologías no destructivas destinadas a la evaluación textural en diversos tipos de pan han sido objeto de amplio estudio [4-6]. Se han diferenciado los cambios estructurales mediante la matriz de co-ocurrencia en escala de grises (GLCM, Gray Level Co-Occurrence Matrix, por sus siglas en inglés). Amani et al, [6] correlacionaron parámetros del perfil de textura de la migra de pasteles horneados a 200, 215 y 230°C, con los resultados del análisis de imágenes, constituyendo una técnica robusta para la evaluación de color y la asociación de la dureza de la migra con variables como el contraste, la entropía y la correlación de los píxeles, además de permitir la caracterización estructural a partir de la distribución de poros en la migra.

De igual forma, el análisis de imágenes posibilita la obtención de parámetros colorimétricos [7,8]. Tratándose de productos de panificación, se ha documentado una diferenciación cromática evidente entre la corteza y la migra. La corteza, constituida por la capa externa adquiere tonalidades más intensas como resultado de la exposición directa al calor, mientras que la migra correspondiente a la capa interna, se caracteriza por una colaboración más clara y homogénea, acompañada de una textura alveolada, de mayor espesor y esponjosidad [7].

El grado de oscurecimiento en los productos horneados está determinado por la concentración de azúcares y aminoácidos que participan en las reacciones químicas durante su cocción al horno, principalmente la reacción de

Millard [9]. En este proceso, la corteza constituye un atributo sensorial de alta relevancia para el consumidor, dado que tanto grosor como su color se consideran parámetros determinantes en la percepción de calidad del pan [7].

Entre los principales factores de aceptabilidad en productos panificados destacan el contenido de humedad, la esponjosidad y las características cromáticas de la migra y la corteza [9].

### Veganismo

La población vegana es toda aquella que no ingiere alimentos de origen animal, esta tendencia alimentaria surgió en el período de la segunda guerra mundial (1944) en Inglaterra [10]. Esta corriente alimentaria se fundamenta en el consumo respetuoso hacia el medio ambiente y los animales, por lo tanto, se excluyen todos los productos y alimentos de origen animal promoviendo un consumo equilibrado con el medio ambiente. Se caracteriza por incluir solo alimentos de origen vegetal, como las frutas, las hortalizas, las semillas, cereales y frutos secos; excluyendo todos los productos de origen animal, los lácteos y sus derivados [11]. No obstante, este tipo de alimentación presenta diferencias nutricionales, las cuales pueden ser solventadas con la inserción de alimentos vegetales de manera estratégica y es recomendable que sea bajo supervisión médica [10].

### Panadería vegana

Si bien el pan es un alimento con alta demanda de consumo, en la población vegana no es la excepción, sin embargo, sustituir los alimentos de origen animal como el huevo, la mantequilla y la leche generan un impacto en las características físicas, como son el color y sobre todo la textura del pan [12].

En este último atributo del pan influyen tanto el gluten como el huevo ya que brinda estructura actuando como coagulante o gelificante o espesante o emulsificante, según el tipo de pan a elaborar, pero invariablemente agrega humedad, color, sabor y aporte nutricional [13].

En tanto, los sustitutos de huevo que se utilizan en la panadería vegana tratan de imitar la capacidad estructural del huevo en los productos de panificación, como en las donas, que se caracterizan por tener una estructura interna húmeda y una corteza crujiente [12], algunos sustitutos de huevo son: la chía, la linaza, la soya, la goma guar [14].

En el presente trabajo se analizó los cambios físicos, de color y textura de una dona horneada vegana, mediante análisis de imágenes.

## Caracterización física mediante análisis de imágenes

El análisis de imágenes (AI), se ha consolidado como una herramienta eficaz para la caracterización objetiva de atributos como textura, forma, color, tamaño y presencia de defectos en alimentos [15]. Entre sus ventajas destacan el bajo costo, la capacidad de procesar áreas extensas para la obtención de información espacial y la eliminación de la subjetividad asociada a la evaluación sensorial humana [16]. El procedimiento consiste en la segmentación, conteo y medición de objetos en imágenes digitales [15].

## Caracterización colorimétrica

El color es uno de los principales indicadores de calidad en alimentos, dado que proporciona información relevante tanto a productores como a consumidores [17].

El índice de oscurecimiento en los panes se relaciona con las reacciones inducidas por el calor durante el horneado, particularmente con la formación de hidroximetilfurfural (HMF), compuesto con potencial carcinogénico. Un menor valor de este índice indica muestras más claras y con menor contenido de HMF. Sin embargo, desde la perspectiva sensorial, los niveles de oscurecimiento de la corteza son considerados atributos deseables por los consumidores, ya que se asocian con una percepción positiva del producto [18].

## Caracterización textural

La textura digital corresponde a la representación de patrones espaciales en niveles de gris dentro de una región de interés (ROI) de una imagen. Este análisis cuantifica características visuales como rugosidad, regularidad y homogeneidad [19].

## Materiales y métodos

La harina de trigo, la sal, el polvo para hornear, la vainilla, la cocoa, el bicarbonato de sodio y el aceite de canola, fueron los ingredientes que se agregaron de manera permanente a todas las formulaciones de las donas veganas, no obstante, los ingredientes de origen animal como la leche, la mantequilla sin sal y la crema, fueron sustituidos por bebida de soya, aceite de oliva, crema de almendras, respectivamente. Los azúcares añadidos (azúcar refinada y mascabada) fueron eliminados en la receta y se agregó estevia. El huevo se reemplazó por semillas de soya, chía y linaza como se muestra en la Tabla 1.

## Caracterización física

Las muestras fueron cortadas de manera transversal, con la finalidad de capturar las imágenes de la migra (ambas caras), como de la corteza (ambas caras) de las donas y realizar la caracterización física [9].

La caracterización física se realizó mediante captura de las imágenes de las donas (miga y costra) en RGB (Blue, green and red, por sus siglas en inglés) y se almacenaron en formato TIFF (Tagged Image File Format, por sus siglas en inglés) con una resolución de 600 DPI (Dots Per Inch, por sus siglas en inglés), utilizando un escáner Cannon (Pixma G2110, USA) [8].

Por medio del programa Image J 1.53a (National Institutes of Health, USA) se procesaron las imágenes previamente obtenidas. El proceso consistió extraer de la imagen completa de la dona cuatro ROI's (Regions of Interest, por sus siglas en inglés) de 246 x 213 píxeles en cada uno de los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste). Las ROI's fueron etiquetadas y almacenadas en formato TIFF.

**Tabla 1.** Ingredientes para donas veganas

Insumos \ Muestras	Control	Chía	Linaza	Soya	Ref.
Stevia	---	8.4g	8.4g	8.4g	[20]
Crema de almendras	---	120g	120g	120g	[14]
Harina de soya	---	---	---	92g	[14]
Aceite de oliva	---	84g	84g	84g	[21]
Goma guar	---	---	---	55.2 g	[22]
Agua	---	30ml	90ml	---	[14] [22]
Linaza	---	---	30g	---	[22]
Chía	---	10g	---	---	[23]

## Parámetros colorimétricos

En la Tabla 2, se muestra el número total de imágenes obtenidas para el procesamiento y para la extracción de los parámetros de las donas veganas.

**Tabla 2.** Total de imágenes para el procesamiento

Trat	No. de muestras	No. de Imágenes por muestra (cortezas y migas)	ROI's	Total de imágenes
Control	5	4	4	80
Chía	5	4	4	80
Linaza	5	4	4	80
Soya	5	4	4	80
Total de imágenes para el procesamiento				320

Se consideraron los canales de color L\* (Luminosidad, 0-100), a\* (verde a rojo, -120 a 120) y b\* (azul a amarillo, -120 a 120) del espacio CieLab (resultados no mostrados) y se extrajeron de las ROI's con el uso del programa ImageJ. Las imágenes resultantes fueron guardadas en formato TIFF con un código único y en la Tabla 3, se muestra el total de imágenes obtenidas para la extracción de color.

**Tabla 3.** Total de imágenes obtenidas para la extracción colorimétrica

Tratamiento	Total de ROI's	Imágenes obtenidas de L*, a* y b*	Total de imágenes
Control	80	3	240
Chía	80	3	240
Linaza	80	3	240
Soya	80	3	240
Total de imágenes para la extracción de los valores de L*, a* y b*			960

Posteriormente, se calculó la diferencia de color ( $\Delta E$ , Ec. 1) y el Índice de Oscurecimiento (IO, Ec. 2) mediante las fórmulas [17,18]:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$\Delta E$  = Diferencia de Color

$$\Delta L^* = (L^* - L_0^*)^2$$

$$\Delta a^* = (a^* - a_0^*)^2$$

$$\Delta b^* = (b^* - b_0^*)^2$$

Siendo  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  y  $b_0^*$  los parámetros de color de la muestra control.

$$IO = 100 - L^* \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

IO = Índice de Oscurecimiento y  $L^*$  es el canal de luminosidad de la muestra problema

### Parámetros texturales

La caracterización cuantitativa de la textura de la miga y de la corteza de las donas veganas se realizó mediante un análisis de textura de imágenes (ATI), usando la entropía y la dimensión fractal. Lo anterior, se ejecutó con las ROI's en escala de grises usando los plugins GLCM y SDBC (Modificado de Conteo Diferencial de Cajas, por sus siglas en inglés) [2]. Obteniendo los parámetros texturales (Tabla 4).

**Tabla 4.** Total de imágenes obtenidas para la extracción de parámetros texturales

Tratamientos	Total de ROI's	Imágenes obtenidas en escala de grises y binarias	Total de imágenes
Control	80	2	160
Chía	80	2	160
Linaza	80	2	160
Soya	80	2	160
Total de imágenes para la extracción de parámetros texturales			640

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos del análisis de imágenes, tanto de los parámetros colorimétricos y texturales, fueron sometidos a un análisis ANOVA y a una prueba de Tukey con un 95% de confianza, tal como lo menciona [2].

## Resultados y discusiones

### Caracterización física

En el análisis de la caracterización física se determinaron dos aspectos importantes, el color y la textura tanto de las migas como de las cortezas de las cuatro muestras de donas veganas, obtenidos mediante el análisis de imágenes.

### Caracterización colorimétrica

La tabla 5 muestra los valores obtenidos de la diferencia de color ( $\Delta E$ ) y el índice de oscurecimiento (IO) en las donas veganas.

**Tabla 5.** Resultados de la  $\Delta E$  e IO para las migas de donas veganas.

Muestra	$\Delta E$	IO
Control	---	$21.810 \pm 0.269^a$
Chía	$5.688 \pm 0.570^a$	$79.965 \pm 0.727^b$
Linaza	$5.454 \pm 0.532^{a,b}$	$77.459 \pm 0.206^c$
Soya	$3.972 \pm 0.389^b$	$75.825 \pm 0.384^d$

Se muestra el valor medio más la suma del error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa con  $p \leq 0.05$ .

La muestra donde se sustituyó el huevo por chía fue la que presentó mayor diferencia de color con respecto a la muestra control, esto se debe a que los productos de panificación elaborados con chía suelen disminuir el parámetro de la luminosidad, ya que, esta semilla es de color marrón, impactando este canal de color en comparación a las otras muestras problema [23].

Lo anterior manifiesta una relación estrecha del color oscuro de las semillas de la chía, debido a los compuestos fenólicos como el ácido clorogénico, queracetina, ácido ferúlico, ácido cafeíco, entre otros hacen que la dona con chía proporcione la diferencia de color [23]. Esto coincide también con el valor del índice de oscurecimiento de la migra ( $IO=79.965 \pm 0.727$ ) el cual fue el valor más alto entre las muestras.

Entretanto, el menor valor de índice de oscurecimiento es el de la muestra control, debido a que no tiene ninguna adición de semillas que pueda interferir de manera directa en el parámetro de luminosidad.

Los resultados de los parámetros colorimétricos de las cortezas de las donas veganas se encuentran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados de color para las cortezas de donas veganas

Muestra	$\Delta E$	IO
Control	----	$74.831 \pm 0.415^a$
Chía	$5.470 \pm 0.460^{a,b}$	$77.509 \pm 0.381^b$
Linaza	$7.091 \pm 0.696^b$	$80.182 \pm 0.517^c$
Soya	$4.490 \pm 0.329^a$	$76.503 \pm 0.352^b$

Se muestra el valor medio más la suma del error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa con  $p \leq 0.05$ .

El índice de oscurecimiento de  $80.182 \pm 0.517$  corresponde a la corteza de la dona vegana de linaza, debido a que presenta un color entre marrón y dorado [23]. En contraste, la corteza de las donas de control presentó el menor índice de oscurecimiento.

La diferencia de color en la corteza y el grosor presenta una relación positiva con la integridad de la misma [4]. En este sentido, la muestra elaborada con linaza presentó la mayor diferencia de color ( $7.091 \pm 0.696$ ), este atributo tiene correspondencia al proceso de horneado, donde se presenta un cambio significativo de color en los productos de panificación, por la reacción de Millard; también se ha informado que el grosor en la corteza incrementa de manera significativa con relación a la temperatura de horneado más que con el tiempo que dure la operación de la misma [4].

### Caracterización de la textura de las migas y las cortezas

La Tabla 7 muestra los resultados de la entropía y la dimensión fractal en las migas de las donas veganas.

**Tabla 7.** Resultados de textura para las migas de donas veganas

Muestra	Entropía	Dimensión fractal
Control	$7.3875 \pm 0.0440^a$	$1.8826 \pm 0.0095^a$
Chía	$7.3836 \pm 0.0639^a$	$1.8427 \pm 0.0076^b$
Linaza	$7.2206 \pm 0.0688^a$	$1.8463 \pm 0.0108^b$
Soya	$7.4203 \pm 0.0534^a$	$1.8226 \pm 0.0109^b$

Se muestra el valor medio más la suma del error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa con  $p \leq 0.05$ .

La dimensión fractal describe geometrías irregulares, por ende, no tiene dimensiones enteras, lo que ayuda a definir la textura de una superficie por medio de la rugosidad o la irregularidad de la superficie de una imagen [8]. Se sabe que, la dimensión fractal en imágenes de pasteles realizados sin huevo disminuye, similar a lo descrito en este estudio, ya que, el análisis muestra diferencias significativas entre las muestras sin huevo y la muestra control elaborada con dicho ingrediente, siendo esta última la que presentó el mayor valor de dimensión fractal ( $1.8826 \pm 0.0095$ ).

La suavidad de la migra está relacionada con la dimensión fractal de imágenes homogéneas. Al igual, está relacionada con la cantidad de poros que se formaron durante la producción de la migra [4]. Todo indica que la mayor suavidad de migra es la de las muestras control, ya que presentó la mayor dimensión fractal ( $1.8826 \pm 0.0095$ ) en comparación con el resto de las muestras problema.

La dimensión fractal de las muestras problemas fue estadísticamente igual, coincidiendo con [23], que mencionan que las migas que contienen chía hacen que se debilite la red de gluten, lo cual da como resultado migas con menor volumen y menor dureza en el pan, esto debido al mucílago que contienen. En el parámetro de entropía no hubo diferencias significativas entre las muestras.

### Conclusiones

Las donas veganas elaboradas con chía suelen disminuir en luminosidad debido al color oscuro de su semilla, por ello la migra de la dona elaborada a partir de ésta mostró la mayor diferencia de color al igual que en el índice de oscurecimiento dando como resultado la migra más oscura.

Hubo mayor diferencia de color en la dona de linaza, relacionado al grosor y su integridad en la corteza. Por otro lado, la que tuvo menor disimilitud en el color fue la que estuvo hecha con soya.

La corteza que presentó mayor diferencia de color fue la dona elaborada con linaza, este parámetro se relaciona con el grosor y la integridad de la corteza. La dona elaborada con soya fue la que tuvo menor diferencia de color en la corteza.

El mayor índice de oscurecimiento fue de la corteza de la dona vegana de linaza, esto a partir de que el insumo tiene la presencia de color entre marrón y dorado. Por el contrario, las donas control obtuvieron el menor índice de oscurecimiento.

Con respecto a la entropía de las muestras se refleja el mismo grado de complejidad textual en las migas, ya que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Otro parámetro útil fue la dimensión fractal para interpretar la suavidad de las migas, como resultado la migra más suave fue la de la dona de control, en cambio, no mostraron diferencias significativas entre las migas de las muestras problema.

El análisis de imagen, resultó una excelente herramienta para la caracterización física de las donas veganas.

## Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas (ONU). Hambre y seguridad alimentaria [Internet]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- [2] Baima JS, Ribotta PD. El análisis de imágenes como herramienta de monitoreo en la deshidratación de rodajas de banana. *Braz J Food Technol.* 2019;22:23118. doi: 10.1590/1981-6723.23118.
- [3] González MM. Técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas al monitoreo de procesos alimentarios [Tesis]. Uruguay: Universidad de la República; 2021. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26835/1/GON21.pdf>
- [4] Olakanmi S, Jayas D, Paliwal J. Applications of imaging systems for the assessment of quality characteristics of bread and other baked goods: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2023;22:1817-38. doi: 10.1111/1541-4337.13131.
- [5] Saha D, Manickavasagan A. Machine learning techniques for analysis of hyperspectral images to determine quality of food products: A review. *Curr Res Food Sci.* 2021;4:1-14. doi: 10.1016/j.crefs.2021.01.002.
- [6] Amani H, Baranyai L, Badak-Kerti K, Khaneghah A. Influence of baking temperature and formulation on physical, sensorial, and morphological properties of pogácsa cake: an image analysis study. *Foods.* 2022;11(3):321. doi: 10.3390/foods11030321.
- [7] De La Cruz MY, Tinoco YJ. Determinación de la calidad de granos de arroz pulido utilizando algoritmos de procesamiento digital de imágenes [Tesis]. Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; 2019. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/7990>
- [8] Kumar N. Digital Image Processing Basics. GeekforGeeks. 2023. Disponible en: <https://www.geeksforgeeks.org/digital-image-processing-basics/>
- [9] Espíndola EA. La dieta vegana como tratamiento y prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad. *Sanum Rev Cient Sanitaria.* 2022;6(1):22-30.
- [10] García Ivars MC. Potencial cariogénico de las bebidas vegetales y su comparativa con la leche de vaca: revisión sistemática [Tesis]. Valencia: Universidad Europea de Valencia; 2022.
- [11] Shayr D. Elaboración de premezclas para panes dirigidos a consumidores veganos con ingredientes tradicionales [Tesis]. Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador; 2022.
- [12] Núñez G, Secchi C. Evaluación de la calidad de los huevos. *Act Nutr.* 2022;24(1):15-22.
- [13] Guardado Sánchez FS. Efecto de sustitutos de huevo, aireación, lecitina y almacenamiento sobre características físicas y sensoriales de queque libre de huevo [Tesis]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica; 2019.
- [14] Pasato AL, Fuentes EM. Análisis no invasivo basado en imagen como alternativa sostenible para la industria alimentaria: revisión bibliográfica. *Cienc Am.* 2021;10(3):1-8.
- [15] Gamonal AE. Diseño de un sistema por visión artificial para determinar la calidad de mandarinas [Tesis]. Perú: Universidad Tecnológica del Perú; 2020.
- [16] Vélez Rivera N, Ramírez Godínez J, Arzate Vázquez I. El análisis de imágenes como innovación tecnológica en microempresas para la determinación de la calidad en productos de panificación. En: Escudero-Nahón A, Palacios-Díaz R, editores. *Métodos y proyectos transdigitales.* Ciudad de México: Editorial Transdigital; 2022. p. 369-79. doi: 10.5616/transdigitalb7.
- [17] Hernández Castro SC. Análisis comparativo de herramientas de caracterización e identificación (HPLC, AA, IR) en productos lácteos [Tesis]. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato; 2022.
- [18] Vázquez Mendoza M. Análisis de propiedades fisicoquímicas de tostadas de maíz y frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*) [Tesis]. México: Universidad Politécnica Francisco I. Madero; 2021.
- [19] Murillo S. Características fisicoquímicas y compuestos bioactivos de harina de cáscara de cacao [Tesis]. Perú: Universidad Nacional de Tumbes; 2020.
- [20] Rodríguez CS. Caracterización nutricional de semilla de calabaza y linaza molida para barras de cereal [Tesis]. Colombia: Universidad de los Andes; 2022. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/58088>
- [21] Cisternas C, Farías C, Muñoz L, Morales G, Valenzuela R. Composición química y beneficios asociados al consumo de chía. *Rev Chil Nutr.* 2022;49(9):625. doi: 10.4067/S0717-75182022000600625.
- [22] Adamczyk G, Ivanišová E, Kaszuba J, Bobel I, Khvostenko K, Chmiel M, et al. Quality assessment of wheat bread incorporating chia seeds. *Foods.* 2021;10(10):2376. doi: 10.3390/foods10102376.