

**Vol.9 No. 1**

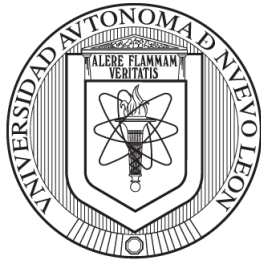
**ISSN: 2448-7503**

# Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos



**Publicado en marzo 2024**

**Publicación semestral**



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

**Una publicación de la  
Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dr. En Med. Santos Guzmán López  
**Rector**

Dr. Juan Paura García  
**Secretario General**

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo  
**Secretaria Académica**

Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado  
**Secretario de Extensión y Cultura**

Lic. Antonio Ramos Revillas  
**Dirección de Editorial Universitaria**

Dr. José Ignacio González Rojas  
**Director de la Facultad de Ciencias Biológicas**

Dr. Juan Gabriel Báez González  
idcyta@uanl.mx  
**Editor responsable**

*Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.*

Vol. 8, junio 2023, es una publicación anual editada y publicada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León. Difusión vía red de cómputo [https://idcyta.uanl.mx/index.php/i\\_idcyta@uanl.mx](https://idcyta.uanl.mx/index.php/i_idcyta@uanl.mx). Editor responsable: Dr. Juan Gabriel Báez González.

Número de reserva de derechos al uso exclusivo del título *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2024-011513431400-102, de fecha 15 de enero de 2024.  
ISSN 2448-7503.

Fecha de la última modificación, marzo de 2024.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Queda Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido de la publicación sin previa autorización.

## **Procesamiento de tuna cardona para la elaboración de mermelada**

### ***Processing of cardona tuna for making jam***

Aguilar-Hernández, A. del C.<sup>1</sup>; Bárcenas-Anguiano, Y.<sup>2</sup>; Cuevas-Galicia, K.<sup>3</sup>, Martínez-Galicia, Eduardo<sup>4</sup>; Flores-Cedillo, M. L.<sup>5\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Estudiante de la División de Ingeniería Industrial. Carr. 57 Méx.-P.N. Tramo Qro-SLP Km 189.100 No. 6501 Delegación Villa de Pozos, S.L.P., México.

<sup>5\*</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Docente de la División de Ingeniería Industrial del Carr. 57 Méx.-P.N. Tramo Qro-SLP Km 189.100 No. 6501 Delegación Villa de Pozos, S.L.P., México. \* [maria.flores@tecsuperiorlsp.edu.mx](mailto:maria.flores@tecsuperiorlsp.edu.mx)

### **Resumen**

Se presenta la elaboración de una mermelada de tuna cardona autóctona del altiplano potosino y a la que se le atribuye una cantidad importante de valores nutricionales la cual se denominó Deli Tuna. En el estudio participaron 20 personas que fueron divididos en 3 grupos de 5 cada uno y 5 quienes fueron el grupo control; a todos ellos se les cuantificaron los niveles de glucemia en sangre comparándolos antes y después de su consumo de los tres tipos de mermelada: Deli Tuna y 2 mermeladas existentes en el mercado que se nombraron como mermelada “L” y mermelada “V”. El grupo control únicamente consumieron la fruta de tuna en su estado natural.

Se obtuvieron resultados satisfactorios en el proceso experimental puesto que los niveles de glucemia en la sangre de los consumidores seleccionados en el estudio, no presentaron un incremento considerable con Deli Tuna; con la mermelada “L” se notaron incrementos en los niveles de glucosa en sangre en todos los sujetos de estudio y todos los incrementos fueron mayores a los que consumieron Deli Tuna. En el caso de la mermelada “V” se presentó un incremento mayor en los niveles de azúcar en la sangre lo que puede atribuirse a los ingredientes dulces de la fórmula empleados en el proceso de elaboración.

En conclusión, Deli Tuna demostró tener los mejores resultados al no incrementar los niveles de glucemia en sangre de los sujetos de estudio. Se espera poder realizar mermelada con otras variedades de tuna para visibilizar en la población los beneficios en la salud al consumirla.

En estudios posteriores se incrementará el tamaño de muestras y se incrementarán los estudios bromatológicos para tener resultados más concluyentes.

**Palabras clave.** Tuna, mermelada de tuna, tuna cardona, reducido en azúcares, saludable.

## **Abstract**

The preparation of a cardona prickly pear jam native to the Potosí highlands and to which a significant amount of nutritional values is attributed, which was called Deli Tuna, is presented. 20 people participated in the study and were divided into 3 groups of 5 each and 5 who were the control group; All of them had their blood glucose levels quantified, comparing them before and after consuming the three types of jam: Deli Tuna and 2 jams on the market that were named “L” jam and “V” jam. The control group only consumed the prickly pear fruit in its natural state.

Satisfactory results were obtained in the experimental process since the blood glucose levels of the consumers selected in the study did not show a considerable increase with Deli Tuna; With the “L” jam, increases in blood glucose levels were noted in all study subjects and all the increases were greater than those who consumed Deli Tuna. In the case of jam “V” there was a greater increase in blood sugar levels, which can be attributed to the sweet ingredients in the formula used in the production process. In conclusion, Deli Tuna demonstrated the best results by not increasing the blood glucose levels of the study subjects. It is expected to be able to make jam with other varieties of prickly pear to make the health benefits of consuming it visible to the population.

In subsequent studies, the sample size will be increased and the bromatological studies will be increased to have more conclusive results.

**Keywords.** Tuna, tuna jam, cardona tuna, reduced in sugars, healthy.

## **Introducción**

A través de los años, en México se consume una fruta fresca de temporada que es el fruto del nopal, la cual se denomina tuna, que en los últimos años ha ido en aumento al consumirse en promedio 3.5 Kg anuales por habitante (Sumaya-Martínez et al., 2010). La tuna se ha usado no solo como alimento, sino también como un remedio natural para tratar múltiples

enfermedades como dolor estomacal, resfriados, colesterol alto, además de ser un excelente alimento para diabéticos (Gobierno de México, 2017).

En México, existe gran variedad de tunas pigmentadas (amarillas, anaranjadas, y rojo-purpura) (Ramírez-Ramos et al., 2015). Su uso más común es en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria ya que es una fuente de antioxidantes, de minerales como potasio, fósforo y calcio (Bugarin-Cardiel et al., 2016) y que además contiene vitaminas como la A, K, C, B2 y B6, además de un contenido aproximado de 85 % agua, 15 % de azúcares, 0.3 % de cenizas y menos de 1 % de proteína (Medico Beviá, 2021).

La tuna ha sido reconocida por sus numerosas virtudes nutritivas, químicas e industriales, ecológicas, medicinales y simbólicas, entre otras, pero últimamente ha llamado la atención debido a sus propiedades nutricionales y funcionales (Tuna - Agricultura Sostenible, 2021). Actualmente, existe la tendencia de consumir alimentos nutracéuticos y funcionales para prevenir algunas enfermedades degenerativas y contribuir en mantener la buena salud de sus consumidores (Ramírez-Ramos et al., 2015) y sus características tecnológicas para el procesamiento en mermelada son sus azúcares, pigmentos, acidez y aroma (Orozco et al., 2011).

En la medicina, la tuna y sus extractos han sido utilizados para el tratamiento de diabetes, el colesterol y enfermedades del sistema inmune. En China, se ha utilizado para el tratamiento del dolor y la inflamación (Cota-Sánchez, 2016).

En el cáncer de ovario y cervical se ha descubierto que regulan las lipidemias, al inhibir la mieloperoxidasa, así mismo disminuyen los niveles de colesterol, los triglicéridos y los niveles de glucosa (Gengatharan et al., 2015).

En general, el uso de la tuna principalmente está enfocado en la introducción de nuevos productos a la industria, tales son: jugos, néctares, productos deshidratados, jarabes, licores y mermeladas (Lazcano-Hernández et al., 2023) y ha sido empleado como azúcar natural porque incrementa la sensibilidad a la insulina, lo que produce que baje la glucosa en la sangre (Juárez, 2020).

En la Tabla 1 se muestra distintas aplicaciones que la tuna tiene en alimentos.

Tabla 1. Ejemplos del uso de *Opuntia ficus-indica* en la industria alimentaria.

Fuente: (Lazcano-Hernández et al., 2023). Elaboración propia.

<b>Aplicaciones en alimentos</b>	<b>Parte de la planta utilizada</b>
Elaboración de suplementos alimenticios.	Pulpa y cáscara.
Ingrediente funcional en la elaboración de pan.	Cladodios.
Elaboración de jalea.	Pulpa.
Antioxidante para conservación de la margarina.	Cáscara.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que tanto niños como adultos disminuyan de la ingesta calórica total el consumo de azúcares a menos del 10 %, por lo que considerando esta necesidad se elaborará una mermelada de tuna con un bajo nivel de azúcar para que así las personas en general puedan consumirla (OMS, 2023).

La tuna es una fruta nutritiva y natural, con este proyecto se pretende transformar esta fruta para poder darle un valor agregado y accesible que haga posible que todas las personas puedan adquirirla.

La mermelada es una conserva de frutas que se obtiene cocinando frutas con azúcar hasta que la mezcla espese y adquiera una consistencia gelatinosa. La relación fruta-azúcar y otros ingredientes pueden variar según la receta (Fuchs, 2020). La mermelada debe tener un sabor dulce y un equilibrio adecuado entre dulzura y acidez y su textura debe ser suave pero con pequeños trozos de fruta (Esquivel Reyes, 2017).

## **Materiales y métodos**

El proceso comercial de elaboración de la mermelada de tuna se resume en la Figura 1.

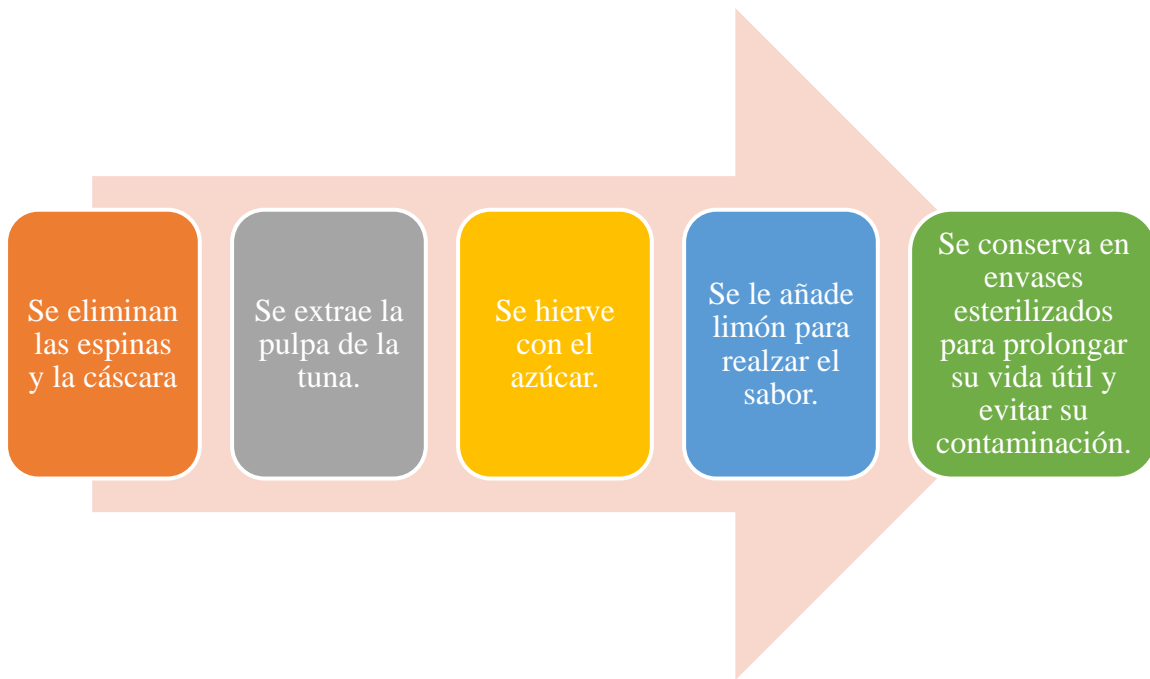


Figura 2. Pasos para la elaboración de mermelada de tuna de manera comercial.

Elaboración propia.

En la Figura 2 se puede observar el proceso para elaborar 1 litro de la mermelada de tuna a la que se denominó “Deli Tuna”: a) Se pelan las tunas, b) se pican en trozos, c) se trituran levemente y se llevan a cocción lenta por 30 minutos, d) se les colocan 2 ml de limón, e) se deja reposar y enfriar a temperatura ambiente y f) se envasan en frascos de vidrio esterilizados.

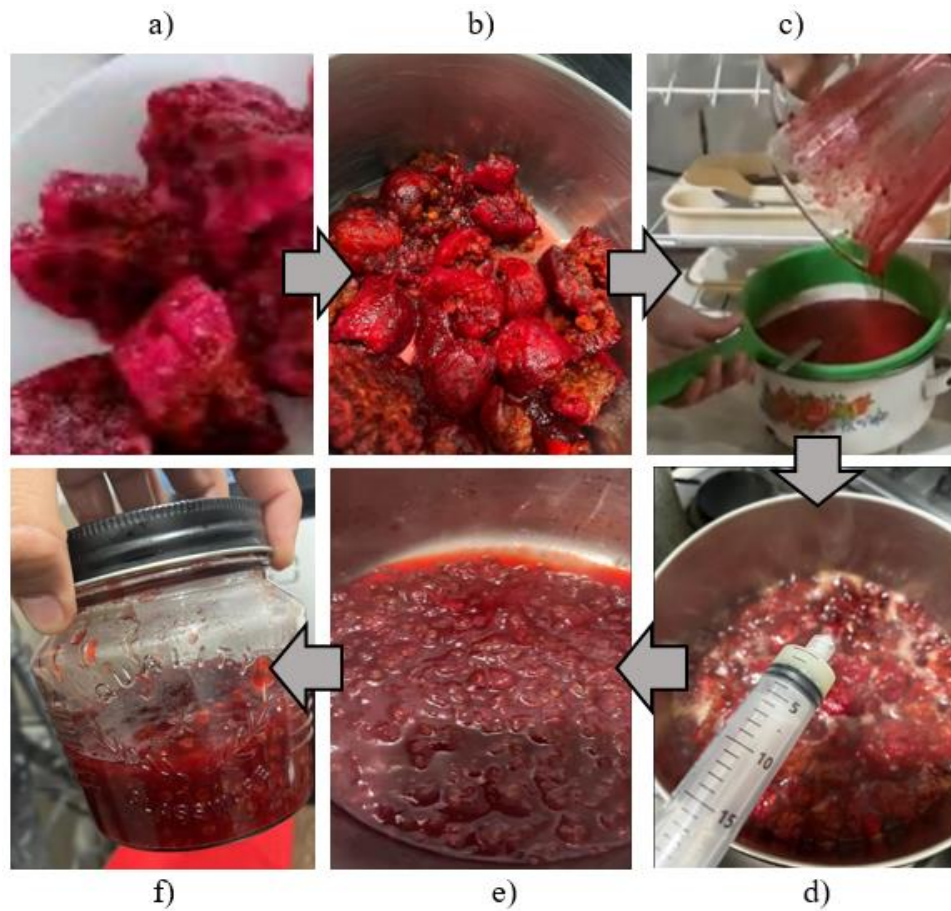


Figura 2. Proceso de elaboración de la mermelada de tuna.

Se realizaron estudios bromatológicos para conocer la naturaleza y el comportamiento de los alimentos para un consumo más seguro y adecuado.

En la Figura 3 se muestra la etiqueta con la información nutrimental de la mermelada de tuna elaborada.



Información nutrimental	
15 porciones por envase aprox. Tamaño de la porción 20g	
Cantidad por porción	
Contenido energético	IDR%
Kilocalorías	<b>44 Kcal</b>
<b>Proteínas</b>	<b>0 g</b>
<b>Grasas totales</b>	<b>0 g</b>
Grasas saturadas	0 g
<b>Carbohidratos</b>	<b>15 g-0.5%</b>
Azúcares	10 g
<b>Sodio</b>	<b>5 mg-0.2%</b>

Figura 3. Etiqueta Nutrimental.

Elaboración propia.

En las Figuras 4 a) y 4 b) se muestran las etiquetas frontal y posterior, respectivamente.



Figura 4. Etiqueta de la mermelada: a) Parte frontal y b) Parte posterior.

Elaboración propia.

## Resultados

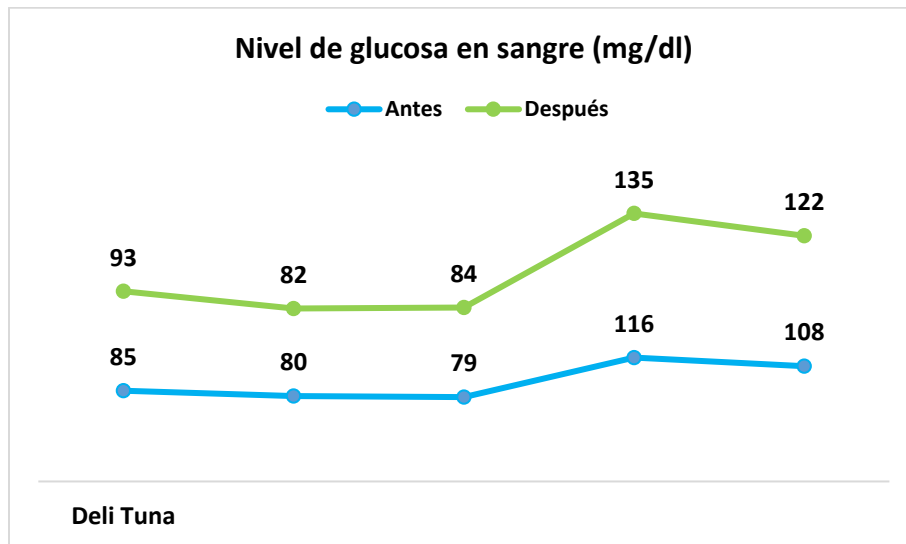
En la Figura 5 se muestran los resultados del estudio piloto longitudinal aplicado a 15 consumidores con niveles similares de glucosa en ayunas con las diferentes mermeladas: a) Deli Tuna, b) Mermelada “V” y c) Mermelada “L”.

A los consumidores se les tomó el nivel de azúcar en la sangre en ayunas y 40 minutos después de consumir una cucharada sopera de la mermelada con un glucómetro de la marca Accu-Chek®. Cabe destacar que se realizaron las mismas pruebas para comparar los resultados contra otras dos marcas comerciales potosinas de mermelada de tuna que no podrán mencionarse, pero se denominarán marca “L” y marca “V”.

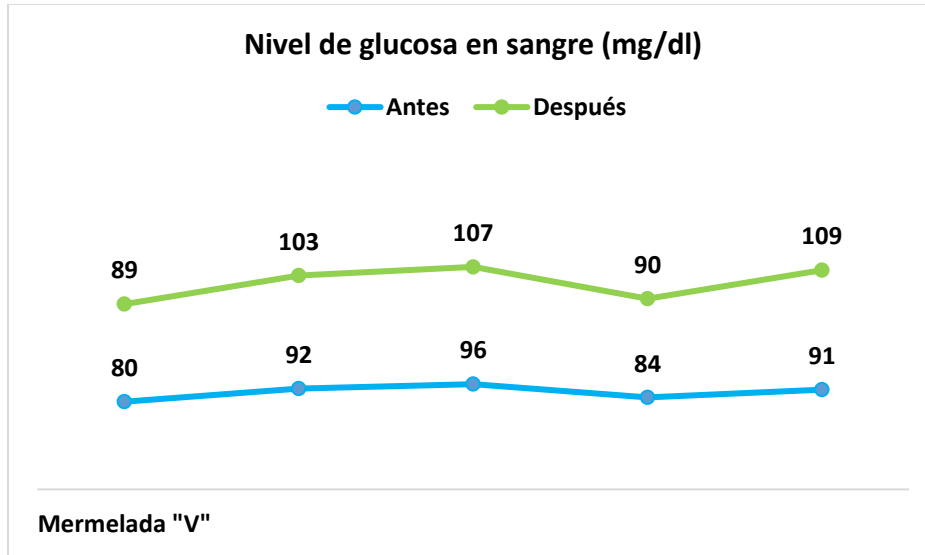
El grupo control se consideró a quienes no consumieron el fruto de la tuna en su estado natural en ayunas.

En todos los casos se muestra un incremento en los niveles de azúcar en la sangre 40 minutos después de consumir los 3 tipos de mermelada, por lo que no es recomendable en personas que presentan niveles altos de azúcar ni diabéticas.

a)



b)



c)

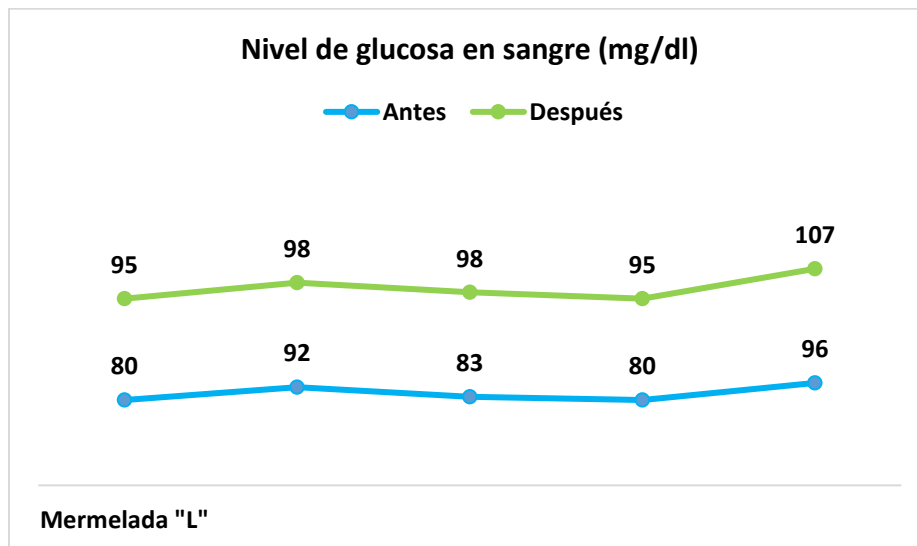


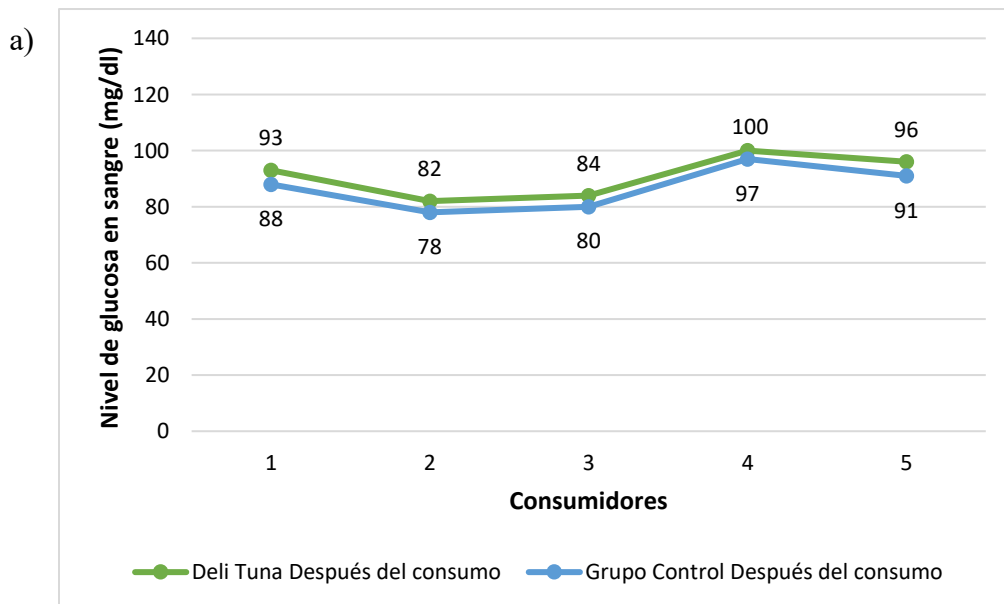
Figura 5. Niveles de glucosa en sangre antes y después del consumo: a) Deli Tuna, b) Mermelada “V” y c) Mermelada “L”.

En la Figura 6 se muestran los niveles de sangre después del consumo de cada tipo de mermelada con respecto al grupo control. En el caso de Deli Tuna (Figura 6 a) se observó un incremento en los niveles de azúcar de los consumidores, sin embargo, este incremento no representa un cambio significativo y se encuentra dentro de los niveles de glucemia

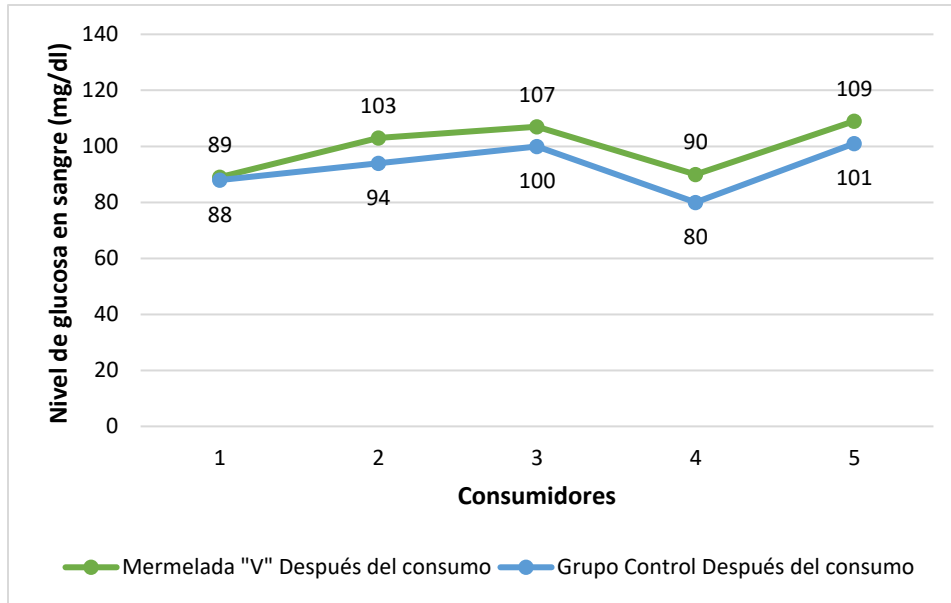
plasmática en ayunas normales establecidas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-015-SSA2-2010) entre 70 y 130 mg/dl.

En los consumidores de la mermelada “V” mostrados en la Figura 6 b) se encontró un incremento promedio de 7 puntos en el índice glucémico en todos los consumidores lo que se puede atribuir a los ingredientes de su fórmula.

Los consumidores de la mermelada “L” cuyos resultados se presentaron en la Figura 6 c) mostraron un incremento significativo en los niveles de glucosa en la sangre, aunque menores a los de la mermelada “V”, aunque en ambos casos fue relativamente menor al de Deli Tuna.



b)



c)

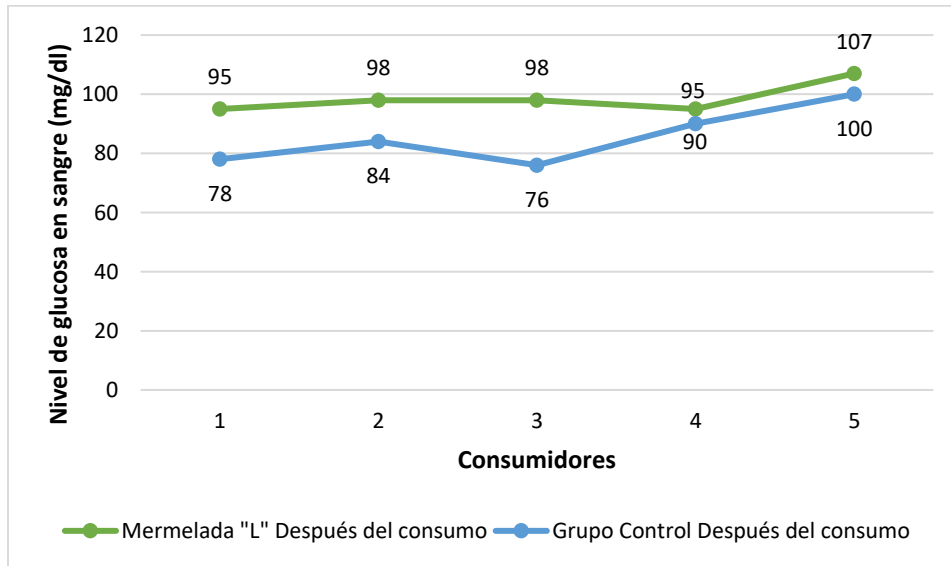


Figura 6. Niveles de glucosa en sangre antes y después del consumo: a) Deli Tuna vs Grupo Control, b) Mermelada “V” Tuna vs Grupo Control y c) Mermelada “L” Tuna vs Grupo Control.

## Conclusiones

Se logró elaborar la mermelada de tuna cardona permitiendo aprovechar los recursos disponibles en la región y el poder comercializarla será un detonante en la generación de empleos y mejora de la economía.

De acuerdo con los resultados, la mermelada “L” fue la que incrementó significativamente los niveles de glucosa en sangre después de su consumo, lo que podría deberse que en su formulación se menciona el uso de la miel. Los consumidores de la mermelada “V” tuvieron incrementos menores a la mermelada “L” pero mayores a Deli Tuna, lo que se sugiere que se debe a la miel de agave contenida. Los resultados coincidieron con los consumidores de cada mermelada comparados contra el grupo control.

Específicamente en los grupos que consumieron la fruta de la tuna y Deli tuna, en estos últimos se observó que sus niveles de glucosa en la sangre fueron ligeramente mayores, lo cual es una tendencia normal por los azúcares propios que contiene la fruta y los otros ingredientes de su elaboración. por lo que se sugiere consumirlo de manera moderada.

Asimismo, se pretende implementar mejoras en el producto, elaborando distintos sabores de mermelada con las variedades de tuna existentes en la región, transformando a la tuna en un producto que pueda consumirse promoviendo una alimentación saludable y así poder darle un valor agregado a este fruto mexicano.

## Bibliografía

- Bugarin-Cardiel, E., Ramírez-Vaca, P., Martínez-García, J. J., & Candelas-Cadillo, M. G. (2016). Textura, nivel de agrado y propiedades fisicoquímicas de tuna blanca (*Opuntia ficus-indica*) en rebanadas sometidas a criocongelación para su conservación. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 327-333.

- Cota-Sánchez, J. H. (2016). Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Fruit. En M. S. J. Simmonds & V. R. Preedy (Eds.), *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 691-712). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3>
- Esquivel Reyes, N. V. (2017). *Análisis de textura en frutas*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Fuchs, L. (2020, junio 7). *Mermelada, confitura, jalea y compota no son lo mismo: En qué se diferencian y cuáles tienen más fruta y menos azúcar*. Directo al Paladar. <https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/mermelada-confitura-jalea-compota-no-que-se-diferencian-cuales-tienen-fruta-azucar>
- Gengatharan, A., Dykes, G. A., & Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 645-649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>
- Gobierno de México. (2017). *La tuna, una fruta muy mexicana*. Fideicomiso de Riesgo Compartido. <http://www.gob.mx/firco/articulos/la-tuna-una-fruta-muy-mexicana?idiom=es>
- Juárez, C. (2020, mayo 7). *Azúcar de tuna como alimento funcional*. The Food Tech - Medio de noticias líder en la Industria de Alimentos y Bebidas. <https://thefoodtech.com/nutricion-y-salud/azucar-de-tuna-como-alimento-funcional/>
- Lazcano-Hernández, C. Y., Hernández-Hernández, A. A., García-Curiel, L., Pérez-Escalante, E., Contreras-López, E., & Pérez-Flores, J. G. (2023). Extracción de compuestos bioactivos a partir de los subproductos de la tuna (*Opuntia ficus-indica* spp.): Tendencias y aplicaciones recientes en alimentos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 785-794. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.101>
- Medico Beviá, A. M. (2021). *Determinación de metales y de la capacidad antioxidante en Tuna (Opuntia Ficus-Indica Mill): Microbiota y Salud* [Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://dspace.umh.es/handle/11000/25895>
- OMS. (2023). *Diabetes*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>

- Orozco, M. L., Flores, J. M., Soto, G. M., & Ramírez, J. L. M. (2011). Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia* spp.) elaborada a nivel planta piloto. *Acta Universitaria*, 21(2), Article 2. <https://doi.org/10.15174/au.2011.33>
- Ramírez-Ramos, M., García-Mateos, M. del R., Corrales-García, J., Ybarra-Moncada, C., & Castillo-González, A. M. (2015). Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *Revista fitotecnica mexicana*, 38(4), 349-357.
- Sumaya-Martínez, M. T., Diéguez, T. S., García, E. A., & Sampedro, J. G. (2010). *Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana*. 27(15), 435-441.
- Tuna—Agricultura Sostenible*. (2021). <https://agriculturasostenible.mx/2021/12/23/tuna/>



## **Análisis comparativo del contenido de cafeína del café tostado bajo diferentes métodos de preparación**

Caudillo-Ortega N A<sup>\*1</sup>, Cárdenas-Aguilar A V<sup>1</sup> y Vázquez-González AB<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/ITS de Guanajuato, Departamento Ingeniería en Industrias Alimentarias. Carretera Guanajuato a Puentecillas Km 10.5, Puentecillas, 36262, Guanajuato, México. [ncaudillo@itesg.edu.mx](mailto:ncaudillo@itesg.edu.mx)

### **Resumen**

La infusión de café, llamada “café”, tiene atributos sensoriales distintivos y el contenido de compuestos químicos, como la cafeína, puede ser diferente de acuerdo al grado de tueste y al método de preparación. El objetivo fue determinar el contenido de cafeína en extractos de café arábica molido con diferentes grados de tueste (claro, medio y oscuro), utilizando dos métodos de preparación; protocolo de la NMX-F-013-SCFI-2020 y las instrucciones de una empresa cafetalera sugerido a sus clientes. En el primer método, el contenido de cafeína fue mayor significativamente ( $p < 0.05$ ) en el café con tueste medio ( $0.1287 \pm 0.0282$  mg/100mL) en comparación con el café verde ( $0.0910 \pm 0.0008$  mg/100mL). En el segundo método, el contenido de cafeína fue significativamente menor en el café verde ( $0.0908$  mg/100mL) con respecto al café tueste claro ( $0.115$  mg/100mL), medio ( $0.098$  mg/100mL) y oscuro ( $0.103$  mg/100mL). Éstos dos últimos presentaron diferencia significativa entre ambos métodos. El contenido de cafeína en los extractos de café con tueste medio y oscuro es significativamente mayor utilizando el método de extracción establecido por la normatividad mexicana, por lo tanto, el método de extracción del café afecta el contenido de cafeína del café verde, con tueste medio y oscuro.

Palabras clave: café, cafeína, tostado

### **ABSTRACT**

Coffee infusion, commonly known as 'coffee,' exhibits distinctive sensory attributes, and the composition of chemical compounds, including caffeine, can vary based on the degree of roasting and the preparation method. The objective of this study was to determine the caffeine content in extracts of ground Arabica coffee with different roasting degrees (light, medium, and dark) using two preparation methods: the NMX-F-013-SCFI-2020 protocol and the instructions provided by a coffee company to its customers. In the first method, the caffeine content was significantly higher ( $p < 0.05$ ) in medium roast coffee ( $0.1287 \pm 0.0282$  mg/100mL) compared to green coffee ( $0.0910 \pm 0.0008$  mg/100mL). In the second method, the caffeine content was significantly lower in green coffee ( $0.0908$  mg/100mL) compared to light ( $0.115$  mg/100mL), medium ( $0.098$  mg/100mL), and dark ( $0.103$  mg/100mL) roast coffee. The latter two showed a significant difference between the two methods. The caffeine content in medium and dark roast coffee extracts is significantly higher using the extraction method established by Mexican regulations, therefore, the coffee extraction method affects the caffeine content of green, medium roast coffee and dark.

Key words: coffee, caffeine, roasting

### **INTRODUCCIÓN**

La bebida de café se encuentra entre las más populares en todo el mundo y contiene cantidades sustanciales de cafeína, lo que convierte a la cafeína en el agente psicoactivo más consumido. El consumo del café se ha realizado durante cientos de años y se ha convertido en una parte importante de las tradiciones culturales y de la vida social (van Dam et al., 2020). El café es un cultivo de suma importancia en México; porque tiene un consumo de 1.4 kg per cápita al año. México es productor de grano de café con excelente calidad, por sus condiciones climatológicas como topografía, altura, climas y suelos. La variedad de café que se produce en nuestro país es la arábica (*Coffea arabica*) y su producción se realiza regularmente en las zonas tropicales. El principal estado productor es Chiapas porque aporta 41.0% del volumen nacional, seguido por Veracruz (24.0%) y Puebla (15.3%) (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). La calidad del café resulta de múltiples factores, que no solo están presentes en las condiciones de cosecha y poscosecha en las fincas, y abarca más allá de la cadena de suministro (Andrade et al., 2020).

El tostado de los granos de café se considera una de las fases más importantes del procesamiento del grano porque durante este proceso los granos de café verdes se transforman en granos tostados desarrollando un sabor y aroma característicos (Tfouni et al., 2014), además de la formación de compuestos aromáticos, color, densidad, tamaño, peso y textura del grano cambia significativamente (Baggenstoss et al., 2007). Los tres tipos principales de café tostado y que se establecen en la normatividad mexicana son: tostado ligero, tostado medio y tostado oscuro (NMX-F-013-SCFI-, 2020). El tostado afecta notablemente la composición del café, uno de los cambios son la cantidad de fenoles del café tostado con respecto al café verde, y estos cambios están asociados con la degradación del ácido clorogénico y otros compuestos, como la cafeína (Budryn et al., 2009). Estos cambios en la composición química dependen tanto de la variedad como del grado de tueste. Según Karima *et al.* (2014), el contenido de cafeína de los granos de café verde puede ser variable. Depende principalmente del tipo de café y su variedad, región geográfica y procesamiento (Karima et al., 2014). La cafeína es una sustancia termoestable que no cambia incluso si se tuesta demasiado (Seninde & Chambers, 2020).

La extracción acuosa del café se define como la operación en donde los compuestos químicos responsables del aroma y sabor, son disueltos al infusionar el café tostado y molido, con agua caliente (Ortega C. et al., 2022). La extracción de esta bebida se realiza en diferentes escalas, desde la industrial hasta la extracción de café con electrodomésticos (Moroney et al., 2016). Los métodos de extracción reportados por del Moral en 2018 son: a) los descendentes, el agua depende de la gravedad y se vierte en la parte superior y desciende. b) los de inmersión completa, el café está en contacto con el agua. c) los que combinan ambos tipos (del Moral, 2018).

Los métodos de extracción combinados para la preparación del café incluyen los de filtración a presión y son una alternativa aceptable para obtener un café con cuerpo y notas amargas (Ormaza Zapata et al., 2019). Además, los granos de café son fuentes ricas en compuestos polifenólicos con altas propiedades antioxidantes y actividad antiinflamatoria, entre estos compuestos se incluye a la cafeína y los ácidos clorogénicos (Bhattarai et al., 2022). Algunas investigaciones han relacionado el contenido fenólico con el método de extracción. Ormaza-Zapata *et al.* (2019) determinaron la retención de metabolitos antioxidantes, la actividad antioxidante y los perfiles de taza para bebidas de café preparadas utilizando cinco métodos de filtración a presión. En esta investigación se recomienda consumir el café utilizando los métodos Espresso o Moka (Ormaza Zapata et al., 2019). Por otro lado, el café preparado por diferentes métodos de filtración difiere en las concentraciones de sólidos disueltos totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante (Várady et al., 2022).

La Norma Oficial Mexicana NOM-218-SSA1-2011 establece los métodos de prueba para la cuantificación de compuestos químicos, vinculados a las especificaciones y calidad de productos alimenticios (NOM-218-SSA1-, 2011). Por otro lado, los consumidores están interesados en conocer las concentraciones de compuestos químicos bajo condiciones de preparación establecidas por el proveedor y cantidades habituales utilizadas para una taza de café. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del método de preparación del café y el grado de tostado, sobre el contenido de cafeína en muestras de café proporcionadas por una empresa dedicada a la venta del mismo.

### **Materiales y métodos**

#### *Preparación de los extractos de café arábica*

La muestra de café fue proporcionada por una empresa dedicada al tostado, molienda, distribución y venta de café del estado de Nuevo León, México. Se utilizó un molino para café (Hamilton Beach Negro, mod.

80335R, China), después, el café molido pasó la malla No. 25 US Estándar y quedó retenido en malla No. 40 o su equivalencia en malla Tyler. Cada extracto de café verde y con tueste claro, medio y oscuro, se obtuvo por dos métodos de extracción. El primer método fue siguiendo las especificaciones de la NMX-F-013-SCFI-2020 (30 g de la muestra preparada con 200 ml de agua destilada caliente (70-80 °C) en un matraz volumétrico de 250 ml, se mezcló y reposó 30 minutos agitando ocasionalmente), y el segundo método nombrado “consumidor” se refiere al procedimiento establecido y recomendado por la empresa distribuidora de café. Las condiciones de la empresa distribuidora de café fueron: 5g de café molido y 150 mL de agua caliente, en una cafetera por goteo (Taurus, mod. 830380, España). Cada uno de los extractos se recolectó y se mantuvo a temperatura ambiente. Todos los parámetros se determinaron con tres experimentos independientes por triplicado para cada una de las muestras.

### *Determinación de cafeína según la NOM- 218-SSA1-2011*

Se utilizó el protocolo descrito en la NOM-218-SSA1-2011, primero se realizó una curva patrón con diferentes concentraciones; 0.10, 0.25, 0.50 y 1.0 mg cafeína/100 mL (NOM-218-SSA1-, 2011). Posteriormente, se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 270 nm en un espectrofotómetro (Genway, mod. 7300, Reino Unido) y se continuó con el procedimiento para cuantificar la cafeína en los extractos de café a partir de la ecuación obtenida de la curva patrón y la absorbancia, en tres experimentos independientes por triplicado para el café verde, tostado claro, tostado medio y tostado oscuro. La fórmula para determinar el contenido de cafeína fue;  $\text{mg cafeína/100 mL} = (\text{mg de cafeína/100 mL obtenidos de la curva})(100)(\text{dilución})$ .

### *Análisis estadístico*

Para el análisis determinar la normalidad y la homogeneidad de varianzas de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente. Para determinar diferencias significativas y comparar el contenido de cafeína entre las muestras con diferentes grados de tueste se aplicó un ANOVA de una vía seguido de un post hoc de Tukey ( $p < 0.05$ ). Para comparar el contenido de cafeína de un grado de tueste en ambos métodos de extracción o preparación se utilizó la prueba de U-Mann Whitney ( $p < 0.05$ ). Se utilizó el paquete estadístico SPSS (IBM, versión 25, EEUA).

## **Resultados y discusión**

### *Preparación de la muestra*

Las muestras de café proporcionadas por la empresa se muestran en la Fig. 1, después de la molienda se obtuvo un tamaño de partícula mayor o igual a 0.43 mm y menor a 0.72 mm, considerada molienda fina, según la NMX-F-013-SCFI-2020. Este tamaño de partícula es recomendado por la empresa distribuidora de café a los consumidores.

### *Contenido de cafeína con el protocolo de la NMX-F-013-SCFI-2020*

Después de la molienda se utilizó el primer método de extracción utilizando el protocolo de la NMX-F-013-2020 y después se determinó el contenido de cafeína en cada extracto de café, Tabla 1. Los datos tienen normalidad estadística, por lo tanto, se presentan en medias y desviación estándar. El café verde puede tener una estructura más compacta que no permite la liberación de la cafeína porque el ANOVA reveló diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el contenido de cafeína de todos los extractos de café con tueste claro, medio y oscuro ( $0.1097 \pm 0.0046$ ,  $0.1287 \pm 0.0082$  y  $0.1165 \pm 0.0062$  mg cafeína/100mL) respectivamente, en comparación con el café verde ( $0.0910 \pm 0.0008$  mg cafeína/100mL). El contenido de

cafeína en el café tostado es igual ya que al comparar los resultados de los extractos de café tostado no existió diferencia significativa.



Fig. 1. Café molido variedad arábica. Molienda fina del café verde, con tueste claro, medio y oscuro, respectivamente.

En el segundo método de extracción se utilizó los extractos de café obtenidos en una cafetera por goteo (Taurus Medea 1 Taza), con 5 g de café tostado molido y 150 mL de agua. El contenido de cafeína fue similar en todos los extractos: café verde (0.0908 mg cafeína/100mL), tueste claro (0.115 mg cafeína /100mL), medio (0.098 mg cafeína /100mL) y oscuro (0.103 mg cafeína /100mL), y se obtuvo el mismo comportamiento que en primer método.

Tabla 1. Contenido de cafeína (mg/ 100mL) en los extractos obtenidos por diferentes métodos de preparación

Café/tueste	Método de preparación	
	NMX-F-013-2020	Consumidor
	(mg cafeína/100 mL)	
Verde	0.091 ± 0.0008	0.091 ± 0.0009
Claro	0.110* ± 0.0047	0.114** ± 0.0005
Medio	0.129* ± 0.0283	0.096** ± 0.0001
Oscuro	0.117* ± 0.0063	0.102** ± 0.0002

ANOVA expresado en medias y desviación estándar

\* diferencia significativa (p<0.05) café verde vs. tueste claro, medio y oscuro.

\*\* diferencia significativa (p<0.05) café verde vs. tueste claro, medio y oscuro.

Posteriormente, se comparó el contenido de cafeína en los extractos de café a partir de los dos métodos utilizados con la prueba U-Mann Whitney, Fig. 2. Sólo el tueste medio y oscuro presentó diferencia significativa al comparar ambos procedimientos, que divergen en cantidad de la muestra, tiempo de infusión, entre otros., ambos extractos presentaron un mayor contenido de cafeína significativo con el método de extracción de la NMX-F-013-SCFI-2020 ( $p < 0.05$ ). El tueste medio y oscuro son los de mayor consumo y bajo las condiciones que establece el método de la normatividad Mexicana, permitiría obtener mayor contenido de cafeína en la bebida.

En el presente estudio los extractos de café no se encontró ningún efecto significativo del método de procesamiento sobre el contenido de cafeína en el café verde y con tueste claro. Mientras que en el tueste medio y oscuro fue todo lo contrario, siendo mayor el contenido de cafeína en el método descrito en la NMX-F-013-SCFI-2020. Estos resultados son diferentes a lo reportado por Uslu en 2022, al comprar los efectos del método de preparación (decocción e infusión) y el tiempo (1 a 5 min) sobre el contenido de cafeína y compuestos fenólicos por HPLC de infusiones de café. Las infusiones de café preparadas con el método de decocción presentaban mayor contenido mayor de fenoles totales en comparación con el método de infusión, pero no se obtuvo diferencia significativa en el contenido de cafeína (Uslu, 2022).

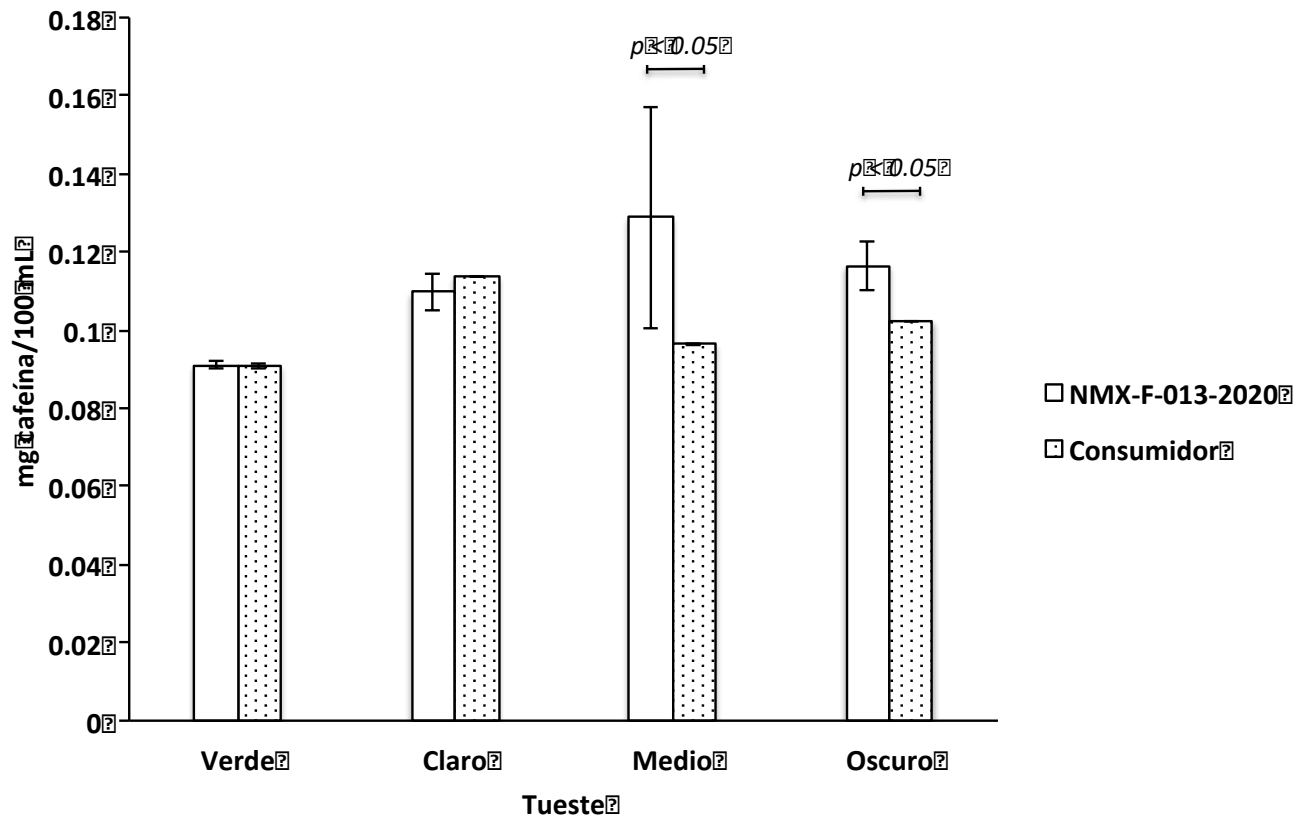


Fig. 2. Comparación del contenido de cafeína en el café verde con café tueste claro, medio y oscuro, a partir de dos diferentes métodos de preparación por la prueba U-Mann Whitney. Medias y desviación estándar ( $p < 0.05$ ).

Del mismo modo en el método de procesamiento, nuestros datos concuerdan con los resultados de Cwиковá *et al.* 2022, en donde no se estableció ningún efecto significativo de un grado de tueste sobre el contenido de cafeína por el método analizado (Cwиковá *et al.*, 2022). Esto es bastante interesante porque la solubilidad de la cafeína en agua aumenta con la temperatura, y el arrastre del vapor de agua liberado durante el tostado provoca la pérdida de cafeína. Según Franca *et al.* 2005, se produce una reducción aproximada del 30% en el contenido de cafeína durante la etapa del tostado (Franca *et al.*, 2005). Mientras que Tsai & Jioe (2021), informaron un contenido de cafeína ligeramente mayor en el café tostado oscuro en comparación con el tostado claro (Tsai & Jioe, 2021).

Sin embargo, Król *et al.* 2020, encontraron que la cantidad de cafeína se vio significativamente afectada por el grado de tueste: el café con tueste claro presentó niveles más altos de cafeína (6.42 mg/g) que el café con tueste medio (5.77 mg/g) y café con tueste oscuro (2.63 mg/g) frijoles (Król *et al.*, 2020). Independientemente de las diferencias mencionadas anteriormente, el contenido de cafeína informado por Król *et al.* 2020 fue sustancialmente mayor en comparación con nuestros datos y puede ser por las características de la muestra, porque nuestro estudio se realizó con extractos de café.

Por otro lado, nuestros datos respecto a un cambio no significativo del grado de tueste sobre el contenido de cafeína, no concuerdan con el estudio de Jeon *et al.* (2017) y Alamri *et al.* (2022). En sus resultados no obtuvieron ningún efecto del grado de tostado sobre el contenido de cafeína en los granos de café, y una posible razón es la estabilidad térmica de la cafeína (Wei *et al.*, 2014)(Jeon *et al.*, 2017)(Alamri *et al.*, 2022).

### Conclusiones

El presente estudio evaluó muestras de café procesados por dos métodos diferentes de preparación (procedimiento NMX-F-013-SCFI-2020 y consumidor) y con tres grados diferentes de tueste (claro, medio y oscuro). El parámetro de interés fue una de las sustancias químicas típicas del café, llamada cafeína.

El contenido de cafeína en las muestras de café fue afectado por el método de preparación. El contenido de cafeína tuvo cambios significativos después del tueste, siendo menor en el café verde con respecto al tueste claro, medio y oscuro, en ambos métodos probados. Al comparar el mismo tipo de café por los dos diferentes métodos de preparación se obtuvo diferencia significativa en el tueste medio y oscuro. Entonces, desde el punto de vista de los consumidores de café, los resultados del presente estudio indican diferencias relativamente significativas en el contenido de cafeína debido al método de preparación y el grado de tostado. El método para preparar una taza de café y obtener el mayor contenido de cafeína es 30 g de café tueste medio y oscuro, 200 ml de agua caliente (70-80 °C), un reposo de 30 minutos y agitación ocasional.

### Bibliografía

- Alamri, E., Rozan, M., & Bayomy, H. (2022). A study of chemical Composition, Antioxidants, and volatile compounds in roasted Arabic coffee. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3133–3139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.025>
- Andrade, H., Bahamón, A., Aragón Calderón, R., Beltrán-Vargas, Y., & Guzmán, N. (2020). Is Coffee (*Coffea arabica* L.) Quality Related to a Combined Farmer–Farm Profile? *Sustainability*, 12, 9518. <https://doi.org/10.3390/su12229518>
- Baggenstoss, J., Poisson, L., Luethi, R., Perren, R., & Escher, F. (2007). Influence of water quench cooling on degassing and aroma stability of roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6685–6691. <https://doi.org/10.1021/jf070338d>

- Bhattacharai, R. R., Al-Ali, H., & Johnson, S. K. (2022). Extraction, Isolation and Nutritional Quality of Coffee Protein. In *Foods* (Vol. 11, Issue 20). <https://doi.org/10.3390/foods11203244>
- Budryn, G., Nebesny, E., Anna, P., Żyżelewicz, D., Materska, M., Jankowski, S., & Janda, B. (2009). Effect of different extraction methods on the recovery of chlorogenic acids, caffeine and Maillard reaction products in coffee beans. *European Food Research and Technology*, 228. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-1004-x>
- Cwiková, O., Komprda, T., Šottníková, V., Svoboda, Z., Simonová, J., Slováček, J., & Jůzl, M. (2022). Effects of Different Processing Methods of Coffee Arabica on Colour, Acrylamide, Caffeine, Chlorogenic Acid, and Polyphenol Content. In *Foods* (Vol. 11, Issue 20). <https://doi.org/10.3390/foods11203295>
- del Moral, S. (2018). Ocho métodos de extracción de café para principiantes.
- Franca, A. S., Mendonça, J. C. F., & Oliveira, S. D. (2005). Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. *LWT - Food Science and Technology*, 38(7), 709–715. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.014>
- Jeon, J.-S., Kim, H.-T., Jeong, I.-H., Hong, S.-R., Oh, M.-S., Park, K.-H., Shim, J.-H., & Abd El-Aty, A. M. (2017). Determination of chlorogenic acids and caffeine in homemade brewed coffee prepared under various conditions. *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 1064, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.08.041>
- Karima, B., Amira-Guebailia, H., Boulmouk, Y., & Houache, O. (2014). HPLC coupled to UV–vis detection for quantitative determination of phenolic compounds and caffeine in different brands of coffee in the Algerian market. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 1314–1320. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.03.014>
- Król, K., Gantner, M., Tatarak, A., & Hallmann, E. (2020). The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *European Food Research and Technology*, 246(1), 33–39. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03388-9>
- Moroney, K. M., Lee, W. T., O'Brien, S. B. G., Suijver, F., & Marra, J. (2016). Coffee extraction kinetics in a well mixed system. *Journal of Mathematics in Industry*, 7(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13362-016-0024-6>
- NMX-F-013-SCFI-, S. de economía. (2020). *NMX-F-013-SCFI-2020 Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado-especificaciones y métodos de prueba*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5641715&fecha=01/02/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5641715&fecha=01/02/2022#gsc.tab=0)
- NOM-218-SSA1-, S. de S. (2011). *NOM-218-SSA1-2011, Productos y servicios. Bebidas saborizadas no alcohólicas, sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. Especificaciones y disposiciones sanitarias. Métodos de prueba*. <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4643/salud/salud.htm#:~:text=1.1> Esta norma establece las, las bebidas adicionadas con cafeína.
- Ormaza Zapata, A. M., Díaz Arango, F. O., & Rojano, B. A. (2019). Efecto de los métodos de preparación del café de filtración por presión (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre el contenido y actividad antioxidante, y la aceptación de la bebida. *DYNA*, 86(209 SE-Artículos), 261–270. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.75839>
- Ortega C., J. J., Caballero P., L. A., & Maldonado M., L. Y. (2022). Evaluación del rendimiento de la extracción de café tostado molido comercial. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 12(1 SE-Artículos). <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/alimen/article/view/1589>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *México, onceavo productor mundial de café*. México, Onceavo Productor Mundial de Café. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es>
- Seninde, D. R., & Chambers, E. (2020). Coffee Flavor: A Review. In *Beverages* (Vol. 6, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/beverages6030044>
- Tfouni, S. A. V., Carreiro, L., Teles, C., Furlani, R., Cipolli, K., & Camargo, M. (2014). Caffeine and chlorogenic acids intake from coffee brew: Influence of roasting degree and brewing procedure. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 747–752.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.12361>

- Tsai, C.-F., & Jioe, I. P. (2021). The Analysis of Chlorogenic Acid and Caffeine Content and Its Correlation with Coffee Bean Color under Different Roasting Degree and Sources of Coffee (*Coffea arabica* Typica). In *Processes* (Vol. 9, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/pr9112040>
- Uslu, N. (2022). The influence of decoction and infusion methods and times on antioxidant activity, caffeine content and phenolic compounds of coffee brews. *European Food Research and Technology*, 248, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04027-6>
- van Dam, R. M., Hu, F. B., & Willett, W. C. (2020). Coffee, Caffeine, and Health. *The New England Journal of Medicine*, 383(4), 369–378. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1816604>
- Várady, M., Tauchen, J., Kloucek, P., & Popelka, P. (2022). Effects of Total Dissolved Solids, Extraction Yield, Grinding, and Method of Preparation on Antioxidant Activity in Fermented Specialty Coffee. *Fermentation*, 8, 375. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080375>
- Wei, F., Furihata, K., Miyakawa, T., & Tanokura, M. (2014). A pilot study of NMR-based sensory prediction of roasted coffee bean extracts. *Food Chemistry*, 152, 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.161>



## Análisis de la sensibilidad gustativa al estímulo amargo en dos poblaciones mexicanas

Barajas-Ramírez J.A.<sup>a\*</sup>, Aguilar-Raymundo V.G.<sup>a</sup>, León-Medina M.M.<sup>a,b</sup>, Sánchez-Gutiérrez M.E.<sup>c</sup>,

<sup>a</sup> Universidad Politécnica de Pénjamo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Carretera Irapuato – La Piedad, Predio El Derramadero, Km 44. C.P. 36900, Pénjamo, Guanajuato, México.

<sup>b</sup> CONAHCYT- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas 800 Colinas de la Normal. Guadalajara, Jalisco. C.P. 44270

<sup>c</sup> Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Colegio de Ciencia y Tecnología, Ciudad de México, México. Dr. García Diego núm. 168, Doctores, Cuauhtémoc, C.P. 06720

\* jbarajas@uppenjamo.edu.mx

### RESUMEN

La sensibilidad gustativa al sabor amargo del propiltiouracilo ha sido considerada como un indicador de sensibilidad general a diversos estímulos orales. La intensidad de percepción del propiltiouracilo permite clasificar a las personas como No Degustadoras (ND), Degustadoras (D) y Superdegustadoras (SD). La sensibilidad a propiltiouracilo varía entre poblaciones. En México existen pocos estudios sobre la distribución de estas frecuencias. El objetivo de este estudio fue identificar y analizar las proporciones de ND, D y SD en dos poblaciones de la región central de México. La sensibilidad a propiltiouracilo de los participantes (148 en Guanajuato y 163 en Hidalgo) se evaluó empleando el método de tres soluciones. La distribución total de frecuencias fue de 50 ND, 204 D y 57 SD, sin existir diferencia entre poblaciones [ $\chi^2_{(2,0.05)} = 4.83$ ;  $P = \text{NS}$ ]. Las proporciones correspondieron con 16, 66 y 18 % de ND, D y SD, respectivamente; lo que representa una diferencia entre la muestra analizada y las reportadas en muestras de poblaciones mexicanas del norte y el oriente de México. Los resultados de este trabajo pueden generar pautas para el desarrollo de más estudios en el área de evaluación sensorial de este tipo en México.

**Palabras clave:** Sensibilidad gustativa, Propiltiouracilo, Distribución de frecuencias

### ABSTRACT

Taste sensitivity to the bitter taste of propylthiouracil has been considered an indicator of general sensitivity to various oral stimuli. The intensity of perception of propylthiouracil makes it possible to classify people as Non-Tasters (NT), Tasters (T), and Supertasters (ST). Sensitivity to propylthiouracil varies between populations. In Mexico, there are few studies on the distribution of these frequencies. The aim of this study was to identify and analyze the proportions of NT, T, and ST in two populations from the central region of Mexico. The sensitivity to propylthiouracil of the participants (148 in Guanajuato and 163 in Hidalgo) was evaluated using the three-solution test. The total distribution of frequencies was 50 NT, 204 T, and 57 ST, with no difference between populations [ $\chi^2_{(2,0.05)} = 4.83$ ;  $P = \text{NS}$ ]. The proportions corresponded to 16, 66 and 18% NT, T, and ST, respectively; signifying a difference between the sample analyzed and recent studies conducted among population samples from the north and east of Mexico. The results of this work can generate guidelines for developing more studies of this kind in the area of sensory evaluation in Mexico.

**Keywords:** Taste sensitivity, Propylthiouracil, Frequencies distribution

## INTRODUCCIÓN

La sensibilidad gustativa al sabor amargo impartido por el propiltiouracilo (PROP), difiere entre individuos (Chamoun et al., 2018). Los humanos pueden ser clasificados de acuerdo con la intensidad con que perciben el sabor amargo de esta sustancia en No Degustadores (ND), Degustadores (D) y Superdegustadores (SD) al PROP. Los SD reportan que el sabor de esta sustancia es muy intenso, mientras que los ND lo reportan como poco intenso o casi imperceptible (Deshaware & Singhal, 2017).

La sensibilidad gustativa a PROP ha sido considerada como indicador de sensibilidad gustativa general a estímulos orales como el dulce, el ácido y amargo (Hwang et al., 2016; Melis & Barbarossa, 2017); así como el graso (Ebba et al., 2012) y las diferencias texturales (Hayes & Duffy, 2007), por lo que podría influir en las preferencias y hábitos de consumo de alimentos (Diószegi et al., 2019), alcohol (Kurshed et al., 2023) y tabaco (Baker et al., 2018), contribuyendo entre otras cosas a diferencias en el Índice de Masa Corporal de las personas (Melis et al., 2021).

La sensibilidad a PROP se ha asociado con diferencias en tres sitios polimórficos del gen *TAS2R38* (Melis & Barbarossa, 2017; Naciri et al., 2023). Estudios en diferentes regiones del mundo han mostrado que las frecuencias de ND, D y SD pueden variar entre poblaciones (Robino et al., 2014; Wang et al., 2022). Las poblaciones de individuos de origen caucásico en Estados Unidos y Europa suelen tener una distribución cercana al 25, 50 y 25 % de ND, D y SD, respectivamente; lo que se ha asociado con las frecuencias alélicas de los polimorfismos mencionados en esa población (Caló et al., 2011; Melis et al., 2022). Otras estimaciones señalan una distribución cercana al 70% degustadores y 30% ND en poblaciones caucásicas en estados Unidos y Europa, con una distribución de 30, 45 y 25 % de ND, D y SD, respectivamente (Zhao & Tepper, 2007). En general, las frecuencias de ND, D y SD en poblaciones de este origen suelen tener poca variación con respecto a estos valores (Guo & Reed, 2001).

Los estudios relacionados con las frecuencias de ND, D y SD a PROP en poblaciones mexicanas son escasos. Se han realizado estudios en la región norte (Martínez-Ruiz et al., 2014) y sur (Barajas-Ramírez et al., 2016) del país, revelando una menor prevalencia de ND en comparación con las poblaciones caucásicas.

Debido a la trascendencia que puede tener la sensibilidad gustativa a PROP en la selección de alimentos, el riesgo a desarrollar padecimientos como ciertos tipos de cáncer (Lambert et al., 2019) o el desarrollo de sobrepeso u obesidad, la identificación de la distribución proporciones de este rasgo en poblaciones mexicanas puede aportar elementos para abrir pautas al desarrollo de políticas públicas orientadas a la disminución de padecimientos o estados que pongan en mayor susceptibilidad a la población. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en identificar y analizar las proporciones de ND, D y SD en dos poblaciones del centro del país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Participantes.** Se realizaron pruebas de sensibilidad gustativa en dos poblaciones de México. Los participantes fueron personas de origen mexicano, con edades entre 18 y 47 años (178 mujeres, 133 hombres). Los sujetos fueron previamente informados sobre los procedimientos que se realizarían y se les notificó que las pruebas no representarían ningún riesgo a su salud. Los participantes firmaron un consentimiento informado antes de comenzar con alguna prueba, de acuerdo con los principios de la declaración de Helsinki.

**Sensibilidad gustativa.** La sensibilidad gustativa al estímulo amargo del propiltiouracilo fue evaluada empleando el método de tres soluciones (Tepper et al., 2001). Los participantes se presentaron a la sesión sin haber consumido algún alimento o bebida y sin haberse aseado la boca, al menos una hora antes de la prueba. Los sujetos recibieron 10 mL de cada una de tres soluciones de propiltiouracilo (0.032, 0.32 y 3.2 mM/L) y tres soluciones de cloruro de sodio (0.01, 0.1 y 1.0 M/L) en vasos plásticos del número cero, identificados con números aleatorios de tres dígitos. Antes de probar alguna solución, los participantes debieron enjuagar su boca con agua. Después de probar cada una

de las soluciones, los sujetos evaluaron su intensidad con una escala Lineal de Magnitud Etiquetada (LMS) de 100 mm de longitud, que contenía las etiquetas “apenas detectable”, “débil”, “moderada”, “fuerte”, “muy fuerte” y “la más fuerte imaginable”, localizadas en los puntos 1.4, 6.0, 17.0, 34.7, 52.5 y 100. La escala fue presentada en una computadora, con acceso a internet para el registro de las respuestas de los participantes en la plataforma frontera2019.com.mx.

Las respuestas de los sujetos ante los estímulos amargo del propiltiouracilo, y salado del cloruro de sodio fueron graficadas. Los sujetos fueron clasificados como degustadores cuando la intensidad de percepción de los dos estímulos fue similar, como no degustadores cuando la intensidad de percepción del salado fue superior que el amargo, y como superdegustadores cuando el individuo indicó que la intensidad del estímulo amargo era muy superior a la del estímulo salado (Tepper et al., 2001).

**Análisis estadístico.** Las frecuencias de sujetos en cada una de las categorías fueron comparadas entre poblaciones. Las frecuencias observadas en las dos poblaciones mexicanas analizadas se compararon con las frecuencias esperadas, de acuerdo con los resultados de estudios de otras poblaciones mexicanas, y en poblaciones caucásicas, en la que más reportes existen. Las comparaciones de frecuencias se realizaron empleando chi-cuadrada. Se utilizó  $P < 0.05$  para indicar diferencia significativa.

## RESULTADOS

### Sensibilidad a propiltiouracilo

Las cantidades de mujeres y hombres participantes (84 mujeres y 64 hombres en la muestra poblacional de Guanajuato, 94 mujeres y 69 hombres en la muestra poblacional de Hidalgo) no fueron significativamente diferentes [ $\chi^2 = 2.70$  y  $\chi^2 = 3.83$ , respectivamente;  $P = NS$  en ambas]. La sensibilidad a propiltiouracilo (PROP) de cada participante se determinó al comparar los valores de intensidad percibida reportados para los estímulos amargo y graso. Los participantes fueron agrupados en ND, D y SD, de acuerdo con la intensidad de percepción de propiltiouracilo y NaCl. La Tabla 1 muestra los valores de intensidad promedio registrados para el estímulo amargo en cada uno de los grupos.

**Tabla 1. Valores asignados a cada solución de propiltiouracilo (PROP) y NaCl por grupo de sensibilidad al estímulo amargo**

Estímulo	Sensibilidad a propiltiouracilo		
	No degustadores (n= 50)	Degustadores (n=204)	Superdegustadores (n=57)
<b>0.032 mM PROP</b>	0.37 (0.05) <i>b</i>	1.08 (0.07) <i>a</i>	1.40 (0.16) <i>a</i>
<b>0.32 mM PROP</b>	1.00 (0.09) <i>c</i>	3.23 (0.11) <i>b</i>	4.24 (0.16) <i>a</i>
<b>3.2 mM PROP</b>	2.63 (0.12) <i>c</i>	6.18 (0.16) <i>b</i>	7.61 (0.25) <i>a</i>
<b>0.01 M NaCl</b>	1.16 (0.12) <i>a</i>	0.99 (0.06) <i>ab</i>	0.74 (0.06) <i>b</i>
<b>0.1 M NaCl</b>	3.08 (0.25) <i>a</i>	2.97 (0.12) <i>a</i>	1.91 (0.12) <i>b</i>
<b>1.0 M NaCl</b>	6.01 (0.25) <i>a</i>	6.48 (0.16) <i>a</i>	4.59 (0.18) <i>b</i>

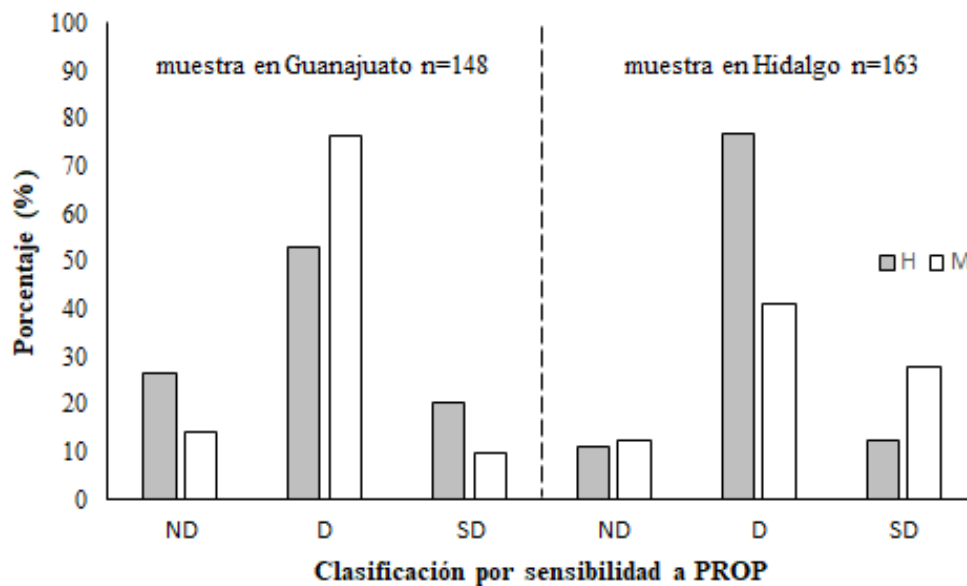
Valores corresponden con medias (SE). Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa (Tukey,  $P < 0.05$ )

El comportamiento de los sujetos en ambas poblaciones al indicar la intensidad de percepción de las soluciones de propiltiouracilo y NaCl fue similar. Los grupos de hombres y mujeres clasificados como ND, D y SD, de los estados de Hidalgo y Guanajuato que participaron en el estudio, emplearon la escala de la misma manera ante las soluciones recibidas [ $P=NS$ ], y las diferencias en la intensidad de percepción obedecieron a la sensibilidad a PROP.

**Efecto de sexo**

Las proporciones de sujetos clasificados como ND, D y SD a PROP fueron diferentes entre hombres y mujeres en las dos poblaciones. La Figura 1 muestra los porcentajes de sujetos clasificados por cada categoría en las dos poblaciones.

En Guanajuato se observó un porcentaje de hombres clasificados como D, ligeramente menor que el de mujeres, la proporción de hombres clasificados como SD fue mayor que la de mujeres ( $\chi^2 = 8.01$ ;  $P<0.01$ ). La muestra poblacional del estado de Hidalgo tuvo un comportamiento un tanto diferente al descrito anteriormente. En esta población, la proporción de mujeres clasificadas como D fue menor que en la población de Guanajuato, pero la cantidad de mujeres clasificadas como SD fue superior a la de hombres identificados con esta categoría ( $\chi^2 = 13.53$ ;  $P<0.001$ ).



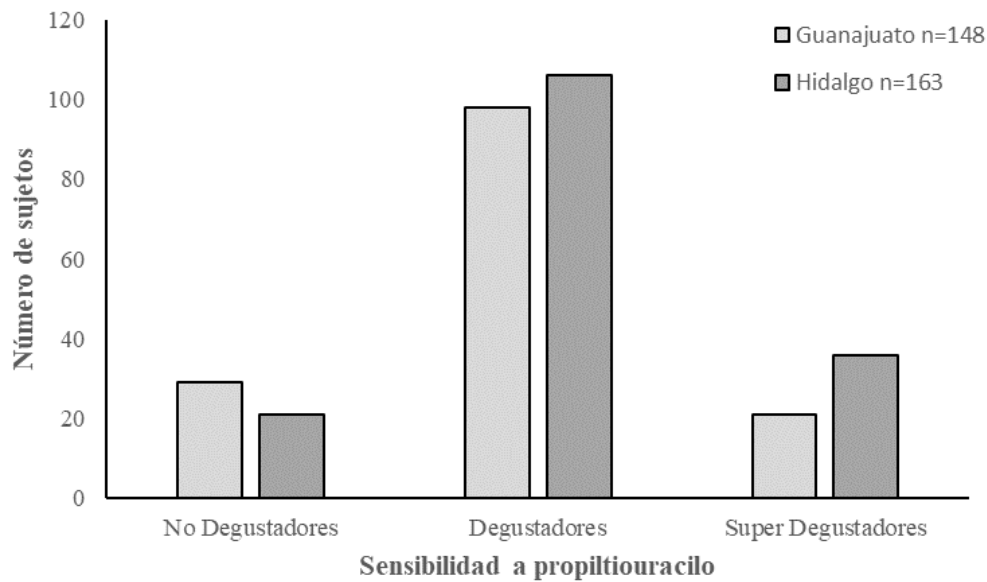
**Figura 1. Porcentaje de sujetos por su nivel de sensibilidad a PROP y sexo en cada estado**

En el estudio de Wang et al. (2022) se reportó un análisis de sensibilidad gustativa al estímulo amargo impartido por feniltiocarbamida, un compuesto que, al igual que PROP, contiene el grupo N-C=S, que le proporciona su característico sabor amargo y que ha sido empleado en estudios de sensibilidad y genética. En el reporte mencionado, los investigadores señalaron no haber encontrado diferencia en las frecuencias de ND, D y SD a PTC entre cuatro regiones de China, aunque sí encontraron diferencia en las proporciones de ND y SD entre los hombres y mujeres participantes. De la misma manera, Choi & Chan (2015) reportaron una mayor frecuencia de mujeres

degustadoras y superdegustadoras que hombres en esta categoría, lo que fue asociado con que las mujeres presentaron mayor densidad de papilas gustativas que los hombres.

**Frecuencias por poblaciones**

Las frecuencias registradas de cada uno de los tres niveles de sensibilidad a propiltiouracilo se muestran en la Figura 2. Las cantidades observadas de sujetos No degustadores, Degustadores y Superdegustadores en Guanajuato fueron de 29, 98 y 21, respectivamente; mientras que, en la muestra de sujetos de Hidalgo, correspondieron con 21, 106 y 36, respectivamente. Las poblaciones no fueron significativamente diferentes en cuanto a las frecuencias observadas en cada categoría [ $\chi^2_{(2,0.05)} = 4.83$ ;  $P=NS$ ].



**Figura 2. Frecuencia de sujetos por nivel de sensibilidad a propiltiouracilo en las muestras poblacionales de Guanajuato e Hidalgo**

Al no existir diferencia en las frecuencias de ND, D y SD entre estas poblaciones, las frecuencias observadas en cada categoría se conjuntaron y su resultado podría suponer la distribución de frecuencias en estas poblaciones mexicanas, correspondiendo con el 16, 66 y 18% de ND, D y SD, respectivamente. Las frecuencias de ND, D y SD encontradas en las muestras de dos estados del centro de México difieren del 13, 55 y 32%, respectivos [ $\chi^2_{(2,0.05)} = 16.62$ ;  $P<0.001$ ], encontrados en una población de mexicanos habitantes en la ciudad de Veracruz, ubicada al oriente de la República Mexicana (Barajas-Ramírez et al., 2016). Los resultados encontrados en este estudio fueron comparados con los que se reportaron en la ciudad de Chihuahua, localizada en la frontera norte de México (Martínez-Ruiz et al., 2014). Aunque en aquel trabajo, los sujetos fueron clasificados solamente como degustadores y no degustadores, con frecuencias de 90% y 10%, respectivamente, la metodología empleada fue la misma y las

frecuencias fueron diferentes a las observadas en esta muestra poblacional de la región central de México [ $\chi^2_{(1,0.05)} = 4.87$ ;  $P < 0.05$ ].

Las diferencias de frecuencias observadas entre poblaciones de acuerdo con su origen étnico es un fenómeno común que ha sido reportado en distintos estudios. Mientras que las frecuencias de ND, D y SD en poblaciones de origen caucásico son cercanas a una distribución mendeliana, las frecuencias en poblaciones con una elevada carga genética de origen asiático o africano suelen alejarse de dicha distribución (Guo & Reed, 2001). En México se registra carencia de estudios de este tipo y, aunque no se tienen datos sobre sensibilidad al estímulo amargo impartido por PROP en poblaciones de origen Amerindio de la zona de Mesoamérica, existen reportes en los que se emplearon pruebas de umbrales de detección; es decir, la identificación de la concentración mínima a la que se detecta el sabor amargo, de la feniltiocarbamida, en poblaciones del centro y sur de México, en los que se encontraron proporciones de ND cercanas al 10% (Aréchiga-Viramontes & Mejía Sánchez, 2013; Kalmus et al., 1964).

La población mestiza en México es resultado de alrededor de 500 años de mezcla de poblaciones Amerindia, con componentes de poblaciones Europea y Africana, principalmente. Las poblaciones mestizas del Occidente y Norte de México (Guadalajara y Chihuahua) poseen un mayor componente europeo que la población del centro del país, representada por la Ciudad de México, la cual muestra una mayor presencia de componentes Amerindios (Rangel-Villalobos et al., 2008). Las poblaciones en las que se realizaron las pruebas de sensibilidad gustativa en este estudio se encuentran en la zona Centro de México y, aunque no se cuenta con información precisa de la carga genética de estas poblaciones en particular, es probable que, por su cercanía, la composición genética sea más similar a la de la Ciudad de México, con una mayor carga genética de población Amerindia, lo que podría conferirles el efecto de poseer una menor sensibilidad al estímulo amargo del PROP y que podría ser resultado de la adaptación al ambiente y la dieta.

La distribución de frecuencias de sujetos ND, D y SD observadas en las poblaciones de Guanajuato e Hidalgo es diferente a la observada en la población de origen Caucásico, la cual suele ser cercana al 30, 45 y 25 % de ND, D y SD, respectivamente, y presenta menor dispersión de frecuencias entre estudios que otras poblaciones como las de origen africano e Indio (Guo & Reed, 2001; Risso et al., 2016).

La hipótesis de que una mayor sensibilidad al sabor amargo impartido por PROP y feniltiocarbamida funciona como factor protector o preventivo contra el consumo de tabaco y alcohol, y que además condiciona al menor consumo de vegetales con preponderante sabor amargo, es generalmente aceptada (Tepper et al., 2009). A pesar de ello, es preciso hacer notar que existen estudios en los que no se ha encontrado relación entre esas variables (Yackinous & Guinard, 2002; Wilkerson et al., 2008). En el mismo sentido, existen estudios que han relacionado la menor sensibilidad al estímulo amargo con mayores valores de IMC o mayor propensión a presentar sobrepeso u obesidad (Trius-Soler et al., 2022). Al ser México un país en el que el sobrepeso y la obesidad son elevados, el desarrollo de estudios en los que se evalúe la relación entre la sensibilidad a PROP y el IMC, considerando factores adicionales como los hábitos de consumo de alimentos, el ambiente y otros elementos genéticos, puede contribuir a comprender mejor dicho efecto.

## CONCLUSIÓN

Las frecuencias de no degustadores, degustadores y superdegustadores a propiltiouracilo en las muestras de las poblaciones de Hidalgo y Guanajuato fueron similares entre sí; aunque son diferentes a las

reportadas en poblaciones del norte y sur de México, en las que se han realizado estudios de este tipo. Por la importancia que puede tener este rasgo fenotípico en aspectos de hábitos de consumo de alimentos y salud, es recomendable realizar más estudios de esta índole en México.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Instituciones de adscripción por el apoyo otorgado durante el desarrollo del proyecto; así como, al Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología por el financiamiento otorgado a través del fondo CONAHCyT Ciencia de Frontera 2019 / 87193.

### BIBLIOGRAFÍA

- Aréchiga-Viramontes & Mejía-Sánchez, M. (2013). Sensibilidad gustativa a la feniltiocarbamida en poblaciones mayas. *Estudios de Cultura Maya*, 21, 15-24.
- Baker, A.N., Miranda, A.M., Garneau, N.L. & Hayes, J.E. (2018). Self-reported smoking status, *TAS2R38*, variants, and propylthiouracil phenotype: An exploratory crowdsourced cohort study. *Chemical Senses*, 43, 617-625.
- Barajas-Ramírez, J.A., Quintana-Castro, R., Oliart-Ros, R.M. & Angulo-Guerrero, O. (2016). Bitter taste perception and *TAS2R38* genotype: effects on taste sensitivity, food consumption and anthropometry in Mexican adults. *Flavour and Fragrance Journal*, 31(4), 310-318
- Caló, C., Padiglia, A., Zonza, A., Corrias, L., Contu, P., Tepper, B.J. & Barbarossa, I.T. (2011). Polymorphisms in *TAS2R38* and the taste bud trophic factor, *gustin* gene co-operate in modulating PROP taste phenotype. *Physiology & Behavior*, 104(5), 1065-1071.
- Chamoun, E., Hutchinson, J.M., Krystia, O., Mirotta, J.A., Mutch, D.M., Buchholz, A.C., Duncan, A.M., Choi, S.E. & Chan, J. (2015). Relationship of 6-n-propylthiouracil taste intensity and chili pepper use with body mass index, energy intake, and fat intake within an ethnically diverse population. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 115(3), 389-396
- Deshaware, S. & Singhal, R. (2017). Genetic variation in bitter taste receptor gene *TAS2R38*, PROP taster status and their association with body mass index and food preferences in Indian population. *Gene*, 627, 363-368
- Diószegi, J., Llanaj, E. & Ádány, R. (2019). Genetic background of taste perception, taste preferences, and its nutritional implication: A systematic review. *Frontiers in Genetics*, 10, 1272
- Ebba, S., Abarintos, R. A., Kim, D.G., Tiyouh, M., Stull, J.C., Movalia, A. & Smutzer, G. (2012). The examination of fatty acid taste with edible strips. *Physiology and Behavior*, 106(5), 579-586
- Guo, S.W. & Reed, D. R. (2001). The genetics of pheniltiocarbamide perception. *Annals of Human Biology*. 28(2), 111-142
- Hayes, J. E. & Duffy, V.B. (2007). Revisiting sugar-fat mixtures: Sweetness and creaminess vary with phenotypic markers of oral sensation. *Chemical Senses*, 32, 225-236
- Hwang, L.D., Breslin, P.A.S. Reed, D.R., Zhu, G., Martin, N.G., & Wright, M.J. (2016). Is the association between sweet and bitter perception due to genetic variation? *Chemical Senses*, 41, 737-744
- Kalmus, H.; De Garay, A.L.; Rodarte, U.; & Cobo, L. (1964). The frequency of PTC tasting, hard ear wax, colour blindness and other genetical characters in urban and rural Mexican populations. *Human Biology*. 36(2), 134-145

- Kurshed, A.A.M., Vincze, F., Pikó, P., Kósa, Z., Sándor, J., Ádány, R. & Diószegi, J. (2023). Taste preference-related genetic polymorphism modify alcohol consumption behavior of the Hungarian General and Roma populations. *Genes*, 14, 666
- Lambert, J.D.; VanDusen, S.R.; Cockcroft, J.E.; Smith, E.C., Greenwood, D.C. & Cade, J.E. (2019). Bitter taste sensitivity, food intake, and risk of malignant cancer in the UK Women's Cohort Study. *European Journal of Nutrition*. 58(5), 2111-2121
- Martínez-Ruiz, N.R., Wall-Medrano, A., Jiménez-Castro, J.A., Díaz-López, J.A. & Angulo-Guerrero, O. (2014). Relación entre el fenotipo PROP, el índice de masa corporal, la circunferencia de cintura, la grasa corporal total y el consumo dietario. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 173-179
- Melis, M. & Barbarossa, I.T. (2017). Taste perception of sweet, sour, salty, bitter, and umami and changes due to L-arginine supplementation, as a function of genetic ability to taste 6-n-propylthiouracil. *Nutrients*, 9, 541
- Melis, M., Mastinu, M., Naciri, L.C., Muroi, P. & Barbarossa, I.T. (2022). Associations between sweet taste sensitivity and polymorphisms (SNPs) in the TAS1R1 and TAS1R3 genes, gender, PROP tastes status, and density of fungiform papillae in a genetic homogeneous Sardinian cohort. *Nutrients*, 14, 4903
- Melis, M., Mastinu, M., Pintus, S., Cabras, T., Crnjar, R. & Barbarossa, I.T. (2021). Differences in salivary proteins as a function of PROP taster status and gender in normal weight and obese subjects. *Molecules*, 26, 2244
- Naciri, L.C., Mastinu, M., Crnjar, R., Barbarossa, I.T. & Melis, M. (2023). Automated identification of the genetic variants of TAS2R38 bitter taste receptor with supervised learning. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 21, 1054-1065
- Rangel-Villalobos, H., Muñoz-Valle, J.F.; González-Martín, A., Gorostiza, A., Magaña, M.T. & Páez-Riveros, L.A. (2008). Genetic admixture, relatedness, and structure patterns among Mexican populations revealed by the Y-chromosome. *American Journal of Physical Anthropology*. 135, 448-461
- Risso, D.S., Kozlitina, J., Sainz, E., Gutierrez, J., Wooding, S., Getachew, B., Luiselli, D., Berg, C.J. & Drayna, D. (2016). Genetic variation in the TAS2R38 bitter taste receptor and smoking behaviors. *PLoS ONE*, 11(10), e0164157
- Robino, A., Mezzavilla, M., Pirastu, N., Dognini, M., Tepper, B.J. & Gasparini, P. (2014). A population-based approach to study the impact of PROP perception on food liking in populations along the Silk Road. *PLoS ONE*. 9 (3), e91716
- Tepper, B.J., Christensen, C.M. & Cao, J. (2001). Development of brief methods to classify individuals by PROP taster status. *Physiology and Behavior*. 73(4), 571-577
- Tepper, B.J.; White, E.A.; Koelliker, Y.; Lanzara, C.; d'Adamo, P. & Gasparini, P. (2009). Genetic variation in taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil and its relationship to taste perception and food selection. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1170, 126-139
- Trius-Soler, M.; Bersano-Reyes, P.A.; Góngora, C.; Lamuela-Raventós, R.M.; Nieto, G & Moreno, J.J. (2022). Association of phenylthiocarbamide perception with anthropometric variables and intake and liking for bitter vegetables. *Genes & Nutrition*. 17(1), 12
- Wang, X., Wang, L., Xia, M., Teng, F., Chen, X., Huang, R., Zhou, J., Xiao, J. & Zhai, L. (2022). Variations in the TAS2R38 gene among college students in Hubei. *Hereditas*, 159(1), 46
- Wilkerson, J.E.; Bailey, J.M.; Bieniasz, M.E.; Rock, C.L. & Ruffin, M.T. (2008). Cervical cancer precursors, diet and bitter taste (6-n-propylthiouracil 'PROP') receptors. *The Open Nutrition Journal*. 2, 51-53
- Yackinos, C.A. & Guinard, J.X. (2002). Relation between PROP (6-n-propylthiouracil) taster status, taste anatomy and dietary intake measures for young men and women. *Appetite*. 38,201-209



## Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Zhao, L. & Tepper, B.J. (2007) Perception and acceptance of selected high-intensity sweeteners and blends in model soft drinks by propylthiouracil (PROP) non-tasters and super-tasters. *Food Quality and Preference*. 18, 531-540

# Avances recientes en el desarrollo de recubrimientos comestibles aplicados en productos cárnicos

## Recent advances in the development of edible coatings applied to meat products

Islas-Enríquez R.P.<sup>1</sup>, Márquez-Reyes J.M.<sup>2</sup>, Amaya-Guerra C.A.<sup>1</sup>, Gallardo-Rivera C.T.<sup>1</sup>, Galindo-Rodríguez S.A.<sup>1</sup> y Treviño-Garza M.Z<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Av. Pedro de Alba S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza 66455, Mexico. \*E-mail: [mayra.trevinogrz@uanl.edu.mx](mailto:mayra.trevinogrz@uanl.edu.mx); [mayra\\_trevinogarza@hotmail.com](mailto:mayra_trevinogarza@hotmail.com)

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Cañada, Escobedo 66050, Mexico.

### Resumen:

La carne es un alimento de gran importancia comercial por su alto valor biológico y nutricional. Sus características fisicoquímicas tales como pH, alta actividad acuosa y contenido de nutrientes (proteínas y minerales) lo catalogan como un alimento altamente perecedero y susceptible a la proliferación de microorganismos lo que conlleva a la reducción de su vida de anaquel. Así mismo, este producto es susceptible a la oxidación de sus componentes provocando su deterioro y mermando sus propiedades sensoriales y nutricionales. Ante esta problemática se han desarrollado recubrimientos comestibles (RC) a base de biopolímeros como polisacáridos, proteínas y lípidos para la conservación de los productos cárnicos. Se ha demostrado que la incorporación de compuestos activos (agentes antimicrobianos y antioxidantes naturales) en los RC puede reducir de manera significativa el desarrollo de microorganismos deteriorantes y patógenos, prevenir la oxidación lipídica y la rancidez, preservar o reducir la pérdida de atributos sensoriales como el color, olor, sabor y textura, e incrementar la vida de anaquel. Finalmente, la incorporación de la tecnología de RC en la industria cárnica puede alargar la vida útil y evitar importantes pérdidas económicas por el rechazo del consumidor. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue hacer una revisión sobre estudios recientes en el desarrollo de RC en productos cárnicos, con la finalidad de conocer sus efectos en la calidad y vida de anaquel, a la par de elucidar el papel de los RC como una tecnología clave en la preservación de estos alimentos.

**Palabras clave:** Recubrimientos comestibles, polisacáridos, compuestos bioactivos, productos cárnicos, calidad, vida de anaquel.

### Abstract:

Meat is a food of great commercial importance due to its high biological and nutritional value. Its physicochemical characteristics, such as pH, high water activity, and nutrient content (proteins and minerals), classify meat as highly perishable and susceptible to the proliferation of microorganisms, leading to a reduction in its shelf-life. Likewise, this product is susceptible to the oxidation of its components, causing their deterioration and reducing their sensory and nutritional properties. Due to this problem, edible coatings (EC) based on biopolymers such as polysaccharides, proteins and lipids have been developed for the preservation of meat products. It has been shown that the incorporation of active compounds (antimicrobial agents and natural antioxidants) into ECs can significantly reduce the development of spoilage microorganisms and pathogens, prevent lipid oxidation and rancidity, preserve, or reduce the loss of sensory attributes such as color, odor, flavor, and texture, and increase the shelf-life. Finally, EC technology in the meat industry can extend the shelf-life of the products and avoid significant economic losses due to consumer rejection. Therefore, this research aimed to review recent studies on the development of ECs in meat products to know their effects on quality and shelf-life, alongside elucidating the role of EC as a key technology in the preservation of these foods.

**Keywords:** Edible coatings, polysaccharides, bioactive compounds, meat products, quality, shelf-life.

## Introducción

En la actualidad, la demanda de los consumidores se orienta cada vez más hacia la obtención de alimentos de excelente calidad, elaborados con ingredientes provenientes de fuentes naturales, seguros y con propiedades nutricionales y sensoriales atractivas, así como con una vida útil prolongada, como es el caso de la carne. La proteína de origen animal tiene gran relevancia en la dieta del ser humano por su alto valor biológico y nutricional. La carne se considera un alimento nutricionalmente valioso dado su contenido de proteínas de alta calidad, que aportan aminoácidos esenciales, así como minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad. Este producto, contiene entre 16.5 y 20 % de proteína y es una excelente fuente de tiamina, riboflavina, niacina y otras vitaminas del complejo B. Adicionalmente, la carne es una buena fuente de ácidos grasos esenciales como el linoléico, linolénico y oléico (Sánchez-Ortega *et al.*, 2014; Umaraw *et al.*, 2020).

La carne es la fuente de primera elección de proteína animal para muchas personas en todo el mundo. En México, las carnes frescas de mayor consumo son las de pollo, porcino y bovino, y en menor cantidad las de ovino, caprino y pavo. En el 2020, el consumo estimado per cápita de pollo fue de 34.1 kg/año, el de porcino 18.9 kg/año y el de bovino de 15.1 kg/año (COMECARNE, 2021). De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Carne (2021), en el año 2020, aproximadamente el 84% de la producción mundial de carne (pollo, bovino y porcino) se concentró en diez países. México se situó en el séptimo lugar produciendo un aproximado de 7.4 millones de toneladas de carne de pollo, bovino, porcino y otras especies.

La carne se clasifica como un alimento altamente perecedero debido a su pH, a su alta actividad de agua ( $A_w$ ), y a su contenido de nutrientes como proteínas y minerales. Su vida de anaquel es limitada, oscilando entre los 3 - 5 días a 4 °C (FoodSafety.gov, 2023). El deterioro de los componentes de la carne es causado principalmente por el crecimiento de microorganismos, el oxígeno, luz, temperatura, tipo de almacenamiento, entre otros factores. Estos factores provocan cambios fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales como rancidez, degradación de proteínas, crecimiento de microorganismos, cambios en el color y textura, olores desagradables, sabores indeseables, cambios en apariencia, entre otros. Lo anterior provoca rechazo del consumidor lo que conlleva a pérdidas económicas importantes. En nuestro país, estas pérdidas se estiman hasta en un 29% de la producción total de carne de pollo, 35% de la carne de res y 40% de la carne de cerdo (CEDRSSA, 2019). La industria cárnica representa una parte importante de las economías nacionales y, por lo tanto, los sistemas de producción y comercialización deben seguir prácticas sanitarias adecuadas, y adicionalmente incorporar tecnologías de conservación necesarias para alargar la vida útil de la carne y evitar pérdidas económicas (Arriaga-Lorenzo *et al.*, 2023).

En este contexto, además de la refrigeración y la congelación se han desarrollado diversos métodos de conservación tales como el uso de atmósferas modificadas, empaques al vacío, adición de conservantes químicos, y más recientemente, la aplicación directa de sustancias naturales como aceites esenciales y extractos vegetales con actividad antimicrobiana y/o antioxidante, así como el uso de películas y recubrimientos comestibles (RC). Un recubrimiento comestible es una capa de materiales que son aplicados directamente sobre la superficie del alimento en forma de una película muy delgada, que funciona como cubierta protectora (Treviño-Garza *et al.* 2015). El RC protege al alimento contra agentes externos como microorganismos, vapor de agua, oxígeno y luz, previene migración de agua, retarda el intercambio gaseoso, previene la pérdida de compuestos deseables y extiende la vida de anaquel del producto. Adicionalmente, los RC pueden funcionar como un vehículo de aditivos y compuestos bioactivos como antimicrobianos y antioxidantes, funcionando como un empaque activo (Alizadeh-Sani *et al.* 2019).

## Materiales utilizados en el desarrollo de recubrimientos comestibles

Para el desarrollo de RC se emplean matrices que suelen tener como base biopolímeros que provienen de diversas fuentes, ya sean de origen vegetal, animal o microbiano. Entre estos materiales se encuentran:

**Polisacáridos.** Algunos ejemplos de ellos son el quitosano, almidón, alginato, gomas, pectina, mucílagos, derivados de la celulosa, entre otros. La estructura lineal de algunos polisacáridos como la celulosa, amilosa y quitosano forman RC resistentes, transparentes, flexibles y resistentes a aceites y grasas. Adicionalmente, tienen excelentes propiedades de barrera para gases (Dhall, 2013; Paidari *et al.*, 2021). Los RC formulados a base de polisacáridos se caracterizan por ser libres de aceite e incoloros, y aportan un bajo contenido calórico. Estos recubrimientos pueden ser aplicados para mejorar la vida útil de los productos cárnicos y otros alimentos, reduciendo considerablemente los problemas asociados a su deshidratación, rancidez oxidativa y el oscurecimiento superficial. Sin embargo, es importante destacar que, debido a su naturaleza hidrofílica, los polisacáridos no son buenas barreras contra la humedad (Gagaoua *et al.*, 2021; Song *et al.*, 2021) por lo que su aplicación y la formulación del recubrimiento dependerán de las características de la matriz alimentaria.

**Proteínas.** Se han empleado para tal fin proteínas del suero de leche, gelatina, caseína, colágeno, zeína, proteína de soya, entre otras (Kumar y Neeraj, 2019). Su desnaturalización permite extender sus cadenas proteicas obteniendo estructuras más cohesivas que los polisacáridos, y su adherencia a la superficie de la carne ayuda a crear una barrera contra el oxígeno y el dióxido de carbono, sin embargo, son sensibles a la humedad y pueden ser susceptibles al ataque de algunas enzimas propias del alimento (Dhall, 2013; Song *et al.*, 2021).

**Lípidos.** Estos compuestos son buenas barreras para prevenir la pérdida de humedad y proveen brillo al alimento. Sus características hidrofóbicas forman RC más gruesos y quebradizos por lo que deben asociarse con proteínas o polisacáridos para su aplicación en productos cárnicos. Los RC producidos a partir de una mezcla de lípidos con proteínas o polisacáridos muestran mejores propiedades mecánicas y de barrera. Se pueden elaborar RC a partir de una amplia gama de sustancias lipídicas, incluidos los aceites esenciales, monoglicéridos acetilados, las ceras naturales, resinas, ácidos grasos, aceites minerales y vegetales, y algunos tensoactivos (Dhall, 2013; Sánchez-Ortega *et al.*, 2014).

Estas matrices poliméricas pueden además funcionar como vehículos de sustancias con distintas funcionalidades como antimicrobianos, antioxidantes, nutraceuticos, probióticos, saborizantes y aromas, entre otros. Adicionalmente, las formulaciones de RC incluyen aditivos tales como plastificantes entre los que destacan, el glicerol, sorbitol, monoglicéridos y polietilenglicol, por mencionar algunos, estos agentes mejoran la flexibilidad y la elongación de los polímeros para una mejor aplicación en los productos alimenticios (Parreidt *et al.*, 2018), entre los que destacan los productos cárnicos (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema general de los componentes de los recubrimientos comestibles y sus funciones para mejorar la calidad y vida útil en productos cárnicos.

## Recubrimientos comestibles adicionados con compuestos bioactivos y su aplicación en los productos cárnicos

Como se mencionó anteriormente, las características intrínsecas de los productos cárnicos, como su elevado contenido de humedad, pH y a su aporte de nutrientes y grasa, los vuelven susceptibles al crecimiento microbiano, a la oxidación y a modificaciones en sus atributos sensoriales, tales como el color, sabor y olor, durante el periodo de almacenamiento. Por sí solos, los RC no suelen cumplir todos los requerimientos para la preservación de estos alimentos; por lo tanto, suelen adicionarse diversas sustancias para mejorar su funcionalidad, principalmente agentes antimicrobianos y antioxidantes provenientes de fuentes vegetales como extractos de té verde, matcha y albahaca, así como aceites esenciales como el de tomillo, ajo y jengibre, por mencionar algunos (Montaño-Sánchez *et al.*, 2020; Şen y Kılıç, 2021; Alexandre *et al.*, 2021; Guerrero *et al.*, 2020; Noori *et al.*, 2018). Los agentes antimicrobianos pueden inhibir o retardar el crecimiento microbiano y mejorar la vida de anaquel del producto, mientras que, los antioxidantes pueden retrasar la oxidación lipídica y mantener sus características organolépticas por un periodo prolongado. Se han utilizado ampliamente polímeros para la formulación de RC a los que se han integrado sustancias antimicrobianas y antioxidantes provenientes de fuentes naturales con resultados prometedores en la conservación de productos cárnicos derivados de res, cerdo, pavo y pollo. En la Tabla 1, se presentan algunos de ellos.

**Tabla 1.** Recubrimientos comestibles adicionados con compuestos bioactivos y aplicados en productos cárnicos.

Producto	Matriz polimérica	Agentes activos	Funcionalidad	Referencia
Carne de hamburguesa res fresca	de Carboximetilcelulosa (CMC)	Polvo de cáscara de manzana, ácido tartárico	Antioxidante y antimicrobiano	Shin <i>et al.</i> , (2017)
Filetes de pechuga de pollo	Caseinato de sodio	Nanoemulsión de aceite esencial de jengibre	Antimicrobiano y antioxidante	Noori <i>et al.</i> , (2018)
Chuletas de cerdo	Quitosano	Vinagre de bamboo	Antioxidante y preservante de color.	Zhang <i>et al.</i> , (2018)
Albóndigas cocidas	Quitosano	Humo líquido	Antimicrobiano	Desvita <i>et al.</i> , (2020)
Carne de cordero descongelada	Alginato	Aceite esencial de tomillo y ajo	Antimicrobiano y antioxidante	Guerrero <i>et al.</i> , (2020)
Carnes frescas de res, pavo y pollo.	Pululano	Nisina, timol, arginato láurico	Antimicrobiano	Hassan y Cutter, (2020)
Chuletas de cerdo frescas	Quitosano	Extracto acuoso de té verde	Antioxidante y antimicrobiano	Montaño-Sánchez <i>et al.</i> , (2020)
Pollo fresco	Almidón de maíz	Nanoemulsión de aceite esencial de <i>Zataria multiflora</i> y cinamaldehído	Antimicrobiano y antioxidante	Abbasi <i>et al.</i> , (2021)
Carne de res	Alginato	Extracto de albahaca	Antioxidante	Alexandre <i>et al.</i> , (2021)
Rebanadas de carne de res fresca	Mucílago de semilla de <i>Lepidium perfoliatum</i>	Aceite esencial de <i>Chicorium intybus</i>	Antimicrobiano y antioxidante	Behbahani <i>et al.</i> , (2021)
Albóndigas cocidas	Proteína de suero de leche	Extracto de polvo de acai y extracto de matcha	Antioxidante y antimicrobiano	Şen y Kılıç, (2021)

## Efecto de los recubrimientos comestibles en la calidad de los productos cárnicos

### *Reducción del crecimiento de microorganismos y extensión de la vida de anaquel*

Uno de los efectos más importantes de la aplicación de los RC en los cárnicos es la extensión considerable de la vida de anaquel debido a la reducción del crecimiento de microorganismos. Su proliferación puede resultar en la formación de exudados, degradación de componentes estructurales, disminución de la capacidad de retención de agua, olores desagradables y cambios en la apariencia y textura (Sánchez-Ortega *et al.*, 2014). Se ha encontrado que el uso de RC adicionados con antimicrobianos como aceites esenciales y extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos ha reducido considerablemente las cuentas de mesófilos aerobios, psicrótrofos, bacterias ácido lácticas (BAL), *Enterobacteriaceae* presentes en los productos cárnicos (Bazargani-Gilani *et al.*, 2015; Behbahani *et al.*, 2017; Cardoso *et al.*, 2016; Fernández-Pan *et al.*, 2014; Hassanzadeh *et al.*, 2017) así como *Pseudomonas* spp., (Bazargani-Gilani *et al.*, 2015; Fernández-Pan *et al.*, 2014). Esta reducción del desarrollo microbiano ha permitido la extensión de la vida de anaquel en cárnicos como pechuga de pollo y carne de res frescas, chuletas de cerdo, albóndigas cocidas, entre otros, hasta por el doble o triple del tiempo respecto al control dependiendo de las condiciones de almacenamiento (Tabla 2). Por otro lado, también se ha reportado una efectividad importante contra bacterias patógenas encontradas en cárnicos como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Behbahani *et al.*, 2017; Heydari *et al.*, 2020), *Salmonella typhimurium* y *Listeria innocua* (Montaño-Sánchez *et al.*, 2020; Desvita *et al.*, 2020), entre otros, por lo que los RC también pueden coadyuvar en mantener la inocuidad de los productos cárnicos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Efecto de RC adicionados con agentes antimicrobianos sobre la vida de anaquel de productos cárnicos.

Producto	Condiciones de almacenamiento	Matriz polimérica	Agente antimicrobiano	Microorganismos controlados	Vida de anaquel	Referencia
Medallones de pechuga de pollo fresca	4 °C por 13 días	Proteína de suero de leche	Aceite esencial de orégano (20 g/Kg)	Mesófilos aerobios, psicrótrofos y <i>Pseudomonas</i> spp.	De 6 a 13 días	Fernández-Pan <i>et al.</i> , (2014)
Pechuga de pollo fresca	4 °C por 20 días	Quitosano	<i>Zataria multiflora</i> al 2%	Mesófilos aerobios, psicrótrofos, <i>Pseudomonas</i> spp., <i>Enterobacteriaceae</i> , mohos y levaduras	De 5 a 10 días	Bazargani-Gilani <i>et al.</i> , (2015)
Carne de res fresca	4 °C por 18 días	Mucílago de semilla de <i>Plantago major</i>	Aceite esencial de eneldo ( <i>Anethum graveolens</i> ) al 1.5%	Mesófilos aerobios, psicrótrofos, <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> y mohos	De 6 a 18 días	Behbahani <i>et al.</i> , (2017)
Pechuga de pollo fresca	4 °C por 21 días	Quitosano	Extracto de semilla de uva al 0.1%	Mesófilos aerobios y psicrótrofos	De 7 a 21 días	Hassanzadeh <i>et al.</i> , (2017)
Carne de res fresca	4 °C por 14 días	Almidón de cassava	Oleoresina de hojas de lima kaffir ( <i>Citrus hystrix</i> DC) al 0.075%	Mesófilos aerobios	14 días	Utami <i>et al.</i> , (2017)

**Cont. Tabla 2**

Carne de avestruz	4 °C por 9 días	Mucílago de semilla de Qodume Shirazi	Aceite esencial de lavanda al 2%	Mesófilos aerobios, psicrótrofos, <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , coliformes y mohos	De 3 a 9 días	Heydari <i>et al.</i> , (2020)
Chuletas de cerdo frescas	0 °C por 25 días y empaque al vacío	Quitosano	Extracto acuoso de té verde al 0.5%	Mesófilos aerobios, psicrótrofos, <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>L. innocua</i> , <i>S. typhimurium</i>	25 días	Montaño-Sánchez <i>et al.</i> , (2020)
Albóndigas cocidas	Temperatura ambiente	Quitosano	Humo líquido al 5%	Mesófilos aerobios, psicrótrofos, <i>E. coli</i> y <i>S. typhimurium</i>	54 h	Desvita <i>et al.</i> , (2020)

**Prevención o reducción de la oxidación lipídica**

En la carne fresca, la oxidación lipídica está asociada con la degradación de triglicéridos y/o fosfolípidos. Los productos derivados de la oxidación como hidroxiperóxidos, aldehídos y cetonas pueden causar enranciamiento, pérdida del color y valor nutritivo debido a la degradación de lípidos, pigmentos, proteínas, carbohidratos y vitaminas (Sánchez-Ortega *et al.*, 2014). Uno de los parámetros para evaluar la oxidación lipídica es la determinación de las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico (TBARS) para medir productos de la oxidación secundaria de los lípidos, que suele reportarse en mg de malonaldehído (MAD)/kg. De acuerdo con Campo *et al.*, (2006), se considera que el umbral de percepción de rancidez oxidativa en la carne de res se alcanza a valores de TBARS de alrededor de 2.0 mg MAD/kg. Para el caso de la carne de cerdo, se ha reportado que este valor se encuentra entre 0.6 – 2.0 mg MAD/kg (Georgantelis *et al.*, 2007). Existen varios reportes del uso de recubrimientos comestibles enriquecidos con antioxidantes como aceites esenciales de romero, orégano, extractos de té verde, de matcha, de albahaca,  $\beta$ -caroteno, entre otros; en productos cárnicos con resultados satisfactorios en la reducción de los valores de TBARS (Cardoso *et al.*, 2016; Vital *et al.*, 2016; Shin *et al.*, 2017; Ozvural y Huang, 2018). Algunos de ellos se concentran en la Tabla 3. En estos estudios se observaron reducciones considerables de los valores de oxidación de los productos cárnicos respecto al control, encontrándose por debajo de los umbrales asociados con la percepción de la rancidez durante todo o la mayor parte del tiempo de almacenamiento en refrigeración.

**Tabla 3.** Efecto de la aplicación de RC incorporados con agentes antioxidantes sobre la calidad (oxidación lipídica) de productos cárnicos.

Producto	Condiciones de almacenamiento	Matriz polimérica	Agente antioxidante	Efecto	Referencia
Filetes de carne de res	4 °C por 5 días	Gelatina	Quitosano 0.5-1%	La oxidación lipídica disminuyó con el aumento de la concentración de quitosano. Los tratamientos mostraron valores de TBARS < 2 mg MAD/kg	Cardoso <i>et al.</i> , (2016)

**Cont. Tabla 3**

Filetes de res frescos	2 °C por 14 días	Alginato	Aceites esenciales de romero y orégano (0.1%)	Los RC con orégano y romero redujeron los valores de TBARS 47% y 39%, respectivamente.	Vital <i>et al.</i> , (2016)
Carne de hamburguesa de res fresca	4 °C por 10 días	Carboximetil-celulosa	Polvo de cáscara de manzana al 1% y ácido tartárico al 0.75%	Se obtuvieron valores < 2 mg MAD/kg durante todo el tiempo de almacenamiento	Shin <i>et al.</i> , (2017)
Carne de hamburguesa	4 °C por 8 días	Quitosano con tripolifosfato de sodio	β-caroteno encapsulado al 0.5%	La oxidación de lípidos fue inhibida durante el almacenamiento encontrándose valores de TBARS de 1.2 mg MDA/kg	Ozvural y Huang, (2018)
Carne de cerdo	4 °C por 7 días	Alginato de sodio y CMC	Galato de epigalocatequina	Efecto significativo en la inhibición de TBARS (<0.6 mg MAD/kg) hasta por 3 días	Ruan <i>et al.</i> , (2019)
Carne de res	2 °C por 14 días	Alginato	Extracto de albahaca	Se mantuvo la oxidación de lípidos por debajo de los 2 mg MDA/kg durante 14 días	Alexandre <i>et al.</i> , (2021)

**Preservación de los atributos sensoriales**

Los cambios en los atributos sensoriales son una de las razones principales de la reducción de la vida de anaquel en los productos cárnicos, que puede deberse al crecimiento microbiano y a la oxidación lipídica inducida por la producción de metabolitos (Hassanzadeh *et al.*, 2017). Asimismo, la oxidación de lípidos causa rancidez alterando el sabor y olor y la producción de una coloración parda por la oxidación de la mioglobina en la carne (Gagaoua *et al.*, 2021). La aplicación de RC permite mejorar, mantener o reducir la pérdida de las propiedades sensoriales de los productos cárnicos tales como el color, olor y sabor (Cardoso *et al.*, 2016; Abdallah *et al.*, 2018; Ruan *et al.*, 2019; Garavito *et al.*, 2020; Guerrero *et al.*, 2020). En la Tabla 4 se muestran algunos estudios de RC desarrollados y la evaluación de las propiedades sensoriales en los cárnicos tratados.

**Tabla 4.** Efecto de la aplicación de RC incorporados con compuestos bioactivos sobre los atributos sensoriales de productos cárnicos.

Producto	Condiciones de almacenamiento	Matriz polimérica	Agentes activos	Efecto en atributos sensoriales	Referencia
Carne de res fresca	4 °C por 18 días	Gelatina y quitosano	N.A.	Preservante del color por 5 días en exhibición al menudeo	Cardoso <i>et al.</i> , (2016)



**Cont. Tabla 4**

Carne de cerdo	4 °C por 7 días	Alginato de sodio y CMC	Galato de epigalocatequina	Efecto protector del color, redujo la pérdida de peso, mejoró el olor y la aceptabilidad general	Ruan <i>et al.</i> , (2019)
Pastirma	4 °C por 4 semanas	Gelatina y alginato	N.A.	Preservación del color y mejora en todos sus atributos sensoriales	Abdallah <i>et al.</i> , (2018)
Filetes de pechuga de pollo	4 °C por 16 días	Proteína de soya y goma guar	Nisina	Se preservaron sus propiedades sensoriales en comparación con el control	Garavito <i>et al.</i> , (2020)
Carne de cordero descongelada (después de 35 meses)	2 a 4 °C por 7 días	Alginato	Aceite esencial de tomillo y ajo	El aceite de tomillo preservó mejor el color de la carne y atributos sensoriales	Guerrero <i>et al.</i> , (2020)

## Conclusiones

El empleo de RC en los productos cárnicos es una importante propuesta ante la exigencia de los consumidores por alimentos de excelente calidad, naturales, sensorialmente atractivos e inocuos. Los RC están formados por biopolímeros como polisacáridos, proteínas y lípidos que pueden ser acarreadores de sustancias activas como antimicrobianos, antioxidantes y otros aditivos. Estos RC activos previenen o ralentizan el desarrollo de microorganismos del deterioro, así como de patógenos, extendiendo la vida de anaquel y mejorando las características sanitarias del alimento. Sus propiedades permiten mantener los atributos sensoriales de los productos cárnicos tales como su color, olor, sabor y apariencia, reducir la oxidación lipídica y la pérdida de peso, entre otros beneficios. Por lo anterior, son una importante tecnología para extender la vida útil de los productos cárnicos más allá de la que los métodos tradicionales de conservación pueden alcanzar. Su efectividad y funcionalidad dependen de sus propiedades físico-mecánicas aunado a las características propias del alimento al que van destinados, por lo que se requiere del estudio y desarrollo de materiales con diversas propiedades funcionales.

## Perspectivas

El uso de compuestos bioactivos en los alimentos, tales como antimicrobianos y antioxidantes de origen natural, ha sido impulsado por la demanda de opciones alimenticias más saludables. En la práctica, se ha visto que la incorporación de estos componentes a los recubrimientos comestibles mejora notablemente la eficacia del recubrimiento, generando un impacto positivo en las características de calidad y vida útil de los productos cárnicos durante su almacenamiento. En este contexto, se ha dirigido la atención hacia la valorización de subproductos ricos en compuestos bioactivos, de industrias tales como la alimentaria y agrícola. Esta estrategia de conservación no sólo permite el aprovechamiento de desperdicios de bajo costo, sino que también se alinea con el uso sostenible de los recursos y la implementación de prácticas de economía circular. En este escenario, es crucial fomentar nuevas investigaciones orientadas en este sentido, para contribuir significativamente a la mejora general de la calidad y seguridad de los productos cárnicos.

## Bibliografía

- Abbasi, Z., Aminzare, M., Hassanzad Azar, H., and Rostamizadeh, K. (2021). Effect of corn starch coating incorporated with nanoemulsion of *Zataria multiflora* essential oil fortified with cinnamaldehyde on microbial quality of fresh chicken meat and fate of inoculated *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Science and Technology*, 58(7), 2677–2687. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04774-y>
- Abdallah, M.R., Mohamed, M.A., Mohamed, H., and Emara, M.T. (2018). Application of alginate and gelatin-based edible coating materials as alternatives to traditional coating for improving the quality of pastirma. *Food Science and Biotechnology*, 27(6), 1589–1597. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0393-2>
- Alexandre, S., Vital, A. C. P., Mottin, C., do Prado, R. M., Ornaghi, M. G., Ramos, T. R., Guerrero, A., Pilau, E. J., and do Prado, I. N. (2021). Use of alginate edible coating and basil (*Ocimum* spp) extracts on beef characteristics during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3835–3843. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04844-1>
- Alizadeh Behbahani, B., Falah, F., Vasiee, A., and Tabatabaee Yazdi, F. (2021). Control of microbial growth and lipid oxidation in beef using a *Lepidium perfoliatum* seed mucilage edible coating incorporated with chicory essential oil. *Food Science and Nutrition*, 9(5), 2458–2467. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2186>
- Alizadeh-Sani, M., Ehsani, A., Moghaddas Kia, E., and Khezerlou, A. (2019). Microbial gums: introducing a novel functional component of edible coatings and packaging. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(17), 6853–6866. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09966-x>
- Arriaga-Lorenzo, P., Maldonado-Simán, E., Ramírez-Valverde, R., Martínez-Hernández, P. A., Tirado-González, D. N., and Saavedra-Jiménez, L. A. (2023). Evaluación de la cadena de frío en cortes de res vendida en supermercados. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 17–26. <https://doi.org/10.5154/r.chsagt.2023.03.02>
- Bazargani-Gilani, B., Aliakbarlu, J., and Tajik, H. (2015). Effect of pomegranate juice dipping and chitosan coating enriched with *Zataria multiflora* Boiss essential oil on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.007>
- Behbahani, B. A., Shahidi, F., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., and Mohebbi, M. (2017). Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94 (Part A), 515–526. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.055>
- Behbahani, B. A., Falah, F., Vasiee, A., and Yazdi, F. T. (2021). Control of microbial growth and lipid oxidation in beef using a *Lepidium perfoliatum* seed mucilage edible coating incorporated with chicory essential oil. *Food Science and Nutrition*, 9(5), 2458–2467. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2186>
- Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., and Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>
- Cardoso, G. P., Dutra, M. P., Fontes, P. R., Ramos, A. de L. S., Gomide, L. A. de M., and Ramos, E. M. (2016). Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display. *Meat Science*, 114, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.012>
- CEDRSSA. (2019). El desperdicio de alimentos en México alcanza el 34.7 por ciento de lo que se produce. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Fecha de consulta: junio de 2022. [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_el\\_-n-desperdicio-n\\_de\\_-n-alimentos-n\\_en\\_-n-mn-xico-n-\\_alcanza\\_el\\_34\\_7\\_por\\_ciento\\_de\\_lo\\_que\\_se\\_produce-\\_n-cedrssa-n.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_el_-n-desperdicio-n_de_-n-alimentos-n_en_-n-mn-xico-n-_alcanza_el_34_7_por_ciento_de_lo_que_se_produce-_n-cedrssa-n.htm)
- COMECARNE. (2021). Compendio estadístico 2021. Consejo Mexicano de la Carne. Fecha de consulta junio de 2022: [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/07/Compendio\\_Estad%C3%ADstico\\_2021\\_VF.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/07/Compendio_Estad%C3%ADstico_2021_VF.pdf)
- Desvita, H., Faisal, M., Mahidin, and Suhendrayatna. (2020). Preservation of meatballs with edible coating of chitosan dissolved in rice hull-based liquid smoke. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05228>
- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Fernández-Pan, I., Carrión-Granda, X., and Maté, J. I. (2014). Antimicrobial efficiency of edible coatings on the preservation of chicken breast fillets. *Food Control*, 36(1), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.032>
- FoodSafety.gov. (2023). Tabla de conservación de alimentos fríos. Fecha de consulta: marzo 2024. <https://espanol.foodsafety.gov/tablas-de-seguridad-alimentaria-mfu8/Tabla-de-conservaci%C3%B3n-de-alimentos-fr%C3%ADos>
- Gagaoua, M., Bhattacharya, T., Lamri, M., Oz, F., Dib, A.L., Oz, E., Uysal-Unalan, I., and Tomasevic, I. (2021). Green Coating Polymers in Meat Preservation. *Coatings* 11(11), 1379. <https://doi.org/10.3390/coatings11111379>
- Garavito, J., Moncayo-Martínez, D., and Castellanos, D.A. (2020). Evaluation of antimicrobial coatings on preservation and

- shelf life of fresh chicken breast fillets under cold storage. *Foods*, 9(9), 1203. <https://doi.org/10.3390/foods9091203>
- Georgantelis, D., Blekas, G., Katikou, P., Ambrosiadis, I., and Fletouris, D. J. (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and  $\alpha$ -tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers. *Meat Science*, 75(2), 256–264. doi:10.1016/j.meatsci.2006.07.018
- Guerrero, A., Ferrero, S., Barahona, M., Boito, B., Lisbinski, E., Maggi, F., and Sañudo, C. (2020). Effects of active edible coating based on thyme and garlic essential oils on lamb meat shelf life after long-term frozen storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2), 656–664. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10061>
- Hassan, A. H. A., and Cutter, C. N. (2020). Development and evaluation of pullulan-based composite antimicrobial films (CAF) incorporated with nisin, thymol and lauric arginate to reduce foodborne pathogens associated with muscle foods. *International Journal of Food Microbiology*, 320, 108519. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108519>
- Hassanzadeh, P., Tajik, H., Rohani, S. M. R., Moradi, M., Hashemi, M., and Aliakbarlu, J. (2017). Effect of functional chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Radiation Physics and Chemistry*, 141, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.06.014>
- Heydari, S., Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., and Noshad, M. (2020). The impact of Qodume Shirazi seed mucilage-based edible coating containing lavender essential oil on the quality enhancement and shelf life improvement of fresh ostrich meat: An experimental and modeling study. *Food science & nutrition*, 8(12), 6497–6512. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1940>
- Kumar, N., and Neeraj. (2019). Polysaccharide-based component and their relevance in edible film/coating: a review. *Nutrition & Food Science*, 49(5), 793–823. <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2018-0294>
- Montaño-Sánchez, E., Torres-Martínez, B. del M., Vargas-Sánchez, R. D., Huerta-Leidenz, N., Sánchez-Escalante, A., Beriain, M. J., and Torrescano-Urrutia, G. R. (2020). Effects of chitosan coating with green tea aqueous extract on lipid oxidation and microbial growth in pork chops during chilled storage. *Foods*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060766>
- Noori, S., Zeynali, F., and Almasi, H. (2018). Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. *Food Control*, 84, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.015>
- Ozvural, E. B., and Huang, Q. (2018). Quality differences of hamburger patties incorporated with encapsulated  $\beta$  carotene both as an additive and edible coating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13353>
- Paidari, S., Zamindar, N., Tahergorabi, R., Kargar, M., Ezzati, S., Shirani, N., and Musavi, S. H. (2021). Edible coating and films as promising packaging: a mini review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4205–4214. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00979-7>
- Parreidt, T. S., Schott, M., Schmid, M., and Müller, K. (2018). Effect of presence and concentration of plasticizers, vegetable oils, and surfactants on the properties of sodium-alginate-based edible coatings. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3):742. <https://doi.org/10.3390/ijms19030742>
- Ruan, C., Zhang, Y., Sun, Y., Gao, X., Xiong, G., and Liang, J. (2019). Effect of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible coating with epigallocatechin gallate on quality and shelf life of fresh pork. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.247>
- Sánchez-Ortega, I., García-Almendárez, B. E., Santos, E. M., Amaro-Reyes, A., Barboza-Corona, J. E., and Regalado, C. (2014). Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation. *The Scientific World Journal*, 2014, 248935. <https://doi.org/10.1155/2014/248935>
- Şen, D. B., and Kılıç, B. (2021). Effects of edible coatings containing acai powder and matcha extracts on shelf life and quality parameters of cooked meatballs. *Meat Science*, 179, 108547. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108547>
- Shin, S. H., Chang, Y., Lacroix, M., and Han, J. (2017). Control of microbial growth and lipid oxidation on beef product using an apple peel-based edible coating treatment. *LWT – Food Science and Technology*, 84, 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.054>
- Song, D. H., Hoa, V. B., Kim, H. W., Khang, S. M., Cho, S. H., Ham, J. S., and Seol, K. H. (2021). Edible films on meat and meat products. *Coatings*, 11, 1344. <https://doi.org/10.3390/coatings11111344>
- Treviño-Garza, M. Z., García, S., Flores-González, M. del S., and Arévalo-Niño, K. (2015). Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Science*, 80(8), M1823–M1830. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12938>
- Umaraw, P., Munekata, E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., and Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.032>
- Utami, R., Khasanah, L. U., and Nasution, M. I. A. (2017). Preservative effects of kaffir lime (*Citrus hystrix* DC) leaves oleoresin incorporation on cassava starch-based edible coatings for refrigerated fresh beef. *International Food Research*

*Journal*, 24(4), 1464–1472.

- Vital, A. C., Guerrero, A., Monteschio, J. D. O., Valero, M. V., Carvalho, C. B., and De Abreu Filho, B. A. (2016). Effect of edible and active coating (with rosemary and oregano essential oils) on beef characteristics and consumer acceptability. *PloS One*, 11(8), e0160535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160535>
- Zhang, H., He, P., Kang, H., and Li, X. (2018). Antioxidant and antimicrobial effects of edible coating based on chitosan and bamboo vinegar in ready to cook pork chops. *LWT – Food Science and Technology*, 93, 470–476. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.005>

## Microencapsulación de compuestos bioactivos de flor de jamaica en suero de leche y su aplicación en yogurt

Altamirano-Romo S. E.<sup>1</sup>, López-Zavala E.<sup>1</sup>, Guerra-Pérez Diana M.<sup>1</sup>, Garrido-Torres M.<sup>2</sup>, Gutiérrez-Tlahque J.<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingenierías, Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, C.P. 38110 Celaya, Guanajuato, México.

<sup>2</sup>Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Av. Tecnológico Manzanillos No. 186, C.P. 61534, Zitácuaro, Michoacán México.

<sup>3\*</sup>Departamento de Ciencias Agropecuarias, Instituto Tecnológico de Roque, Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. [jorge.gt@roque.tecnm.mx](mailto:jorge.gt@roque.tecnm.mx)

### RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de extraer compuestos bioactivos como los fenoles provenientes de la flor de la jamaica para elaborar microcápsulas utilizando maltodextrina, caseinato de sodio y suero de leche como materiales de pared en diferentes concentraciones y aplicarlas en un yogurt para evaluar la estabilidad de los microencapsulados dentro una matriz alimentaria. Los tratamientos que se aplicaron al yogurt fueron las distintas microcápsulas que a continuación se describen: T1: Yogurt natural sin microcápsulas, T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche, T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de maltodextrina. T4: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de caseinato de sodio. Donde las variables de respuesta analizadas fueron: Contenido de fenoles totales, actividad antioxidante para el radical ABTS y DPPH; así mismo se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado orientada a consumidores. El contenido total de fenoles y la actividad antioxidante de los extractos mostró que el mejor tratamiento para conservar los compuestos fenólicos de la flor de jamaica fue el T2, mismo que presentó la mayor aceptación por parte del consumidor para los atributos sabor, color, aroma y textura. Por lo que la aplicación de suero de leche como material encapsulante para elaborar microcápsulas de extractos de flor de jamaica para aplicarlos en una matriz alimenticia resulta una opción viable para elaborar alimentos funcionales.

**Palabras Clave:** Compuestos fenólicos, Antioxidantes, Secado por Aspersión, *Hibiscus sabdariffa* L., Alimentos funcionales

### SUMMARY

The objective of this work is to extract bioactive compounds such as phenols from the jamaica flower to prepare microcapsules using maltodextrin, sodium caseinate and whey as wall materials in different concentrations and apply them in a yogurt to evaluate the stability of microcapsules within a food matrix. The treatments that were applied to the yogurt were the different microcapsules described below: T1: Natural yogurt without microcapsules, T2: Natural yogurt with jamaica flower extract encapsulated with whey, T3: Natural yogurt with jamaica flower extract encapsulated with whey and 10% maltodextrin solids. T4: Natural yogurt with hibiscus flower extract encapsulated with whey and 10% sodium caseinate solids. Where the response variables analyzed were total phenol content, antioxidant activity for the ABTS and DPPH radical; Likewise, a sensory test of level of liking aimed at consumers was carried out. The total content of phenols and the antioxidant activity of the extracts showed that the best treatment to preserve the phenolic compounds of the jamaica flower was T2, which presented the highest acceptance by the consumer for the attributes flavor, color, aroma and texture. Therefore, the application of whey as an encapsulating material to prepare microcapsules of jamaica flower extracts to apply them in a food matrix is a viable option to prepare functional foods.

**Key Words:** Phenolic compounds, Antioxidants, Spray Drying, *Hibiscus sabdariffa* L., Functional Foods

## INTRODUCCIÓN

La microencapsulación es una técnica utilizada para proteger compuestos activos y nutraceuticos, que consiste en recubrir uniformemente ingredientes funcionales (vitaminas, enzimas, fenoles, moléculas y células), con una película polimérica para obtener cápsulas micrométricas. El proceso de encapsulación se puede realizar con gases, gotas líquidas o pequeñas partículas sólidas. La película actúa como barrera para proteger el compuesto activo del entorno, controlar su liberación, evitar la interacción con otros ingredientes y mejorar su estabilidad (Ribeiro, 2020).

Un elemento fundamental para la elaboración de las microcápsulas son los materiales de pared que dentro de los cuales se encuentran las maltodextrinas de diferentes equivalentes de dextrosa (DE) se utilizan comúnmente como material de pared por su alta solubilidad en agua, baja viscosidad, bajo contenido de azúcar y sus soluciones son incoloras. Estas propiedades las convierten en los materiales portadores o de pared más utilizados en la microencapsulación (Robert *et al.*, 2010). Mientras que el caseinato de sodio es un encapsulante adecuado para la microencapsulación debido a su baja viscosidad, alta solubilidad y buenas propiedades emulsionantes (Pudziuelyte *et al.*, 2019). Otro material de pared es el aislado de proteína de suero de leche, el cual ayuda a la estabilidad estructural de los polvos debido a su estructura globular y su característica catiónica a pH ácido, lo que facilita la unión entre polisacáridos con características aniónicas, como la goma arábiga y pectina, que da como resultado un material de pared con enlaces complejos de proteína-polisacárido que favorece la microencapsulación (Chung *et al.*, 2015).

Los compuestos fenólicos como los flavonoides, taninos, ácidos fenólicos, entre otros; estos compuestos se encuentran en fuentes naturales como los vegetales, las frutas, semillas y poseen actividad antioxidante (Bugall, 2011). Los antioxidantes son compuestos, naturales o sintéticos, que pueden retrasar o inhibir la oxidación de los lípidos y otras moléculas mediante la inhibición de la iniciación o propagación de las reacciones oxidativas, a través, de la absorción y la neutralización de radicales libres, los cuales son especies nocivas generadas durante el metabolismo oxidativo (Garro *et al.*, 2015). El lactosuero se ha considerado por años como un desecho, sin embargo actualmente es considerado una fuente antioxidantes, a pesar del valor nutricional potencial del suero y al aumento en su aprovechamiento para la producción de otros alimentos, una gran parte es descartado, causando problemas de contaminación, (Zhao y Ashaolu., 2020).

Las flores comestibles como la jamaica, posee cualidades que aportan mucho a la salud del ser humano si se introdujera como parte de su dieta diaria (Pires *et al.*, 2017). La flor de jamaica ha sido una de las especies más estudiadas por su alto contenido antioxidantes como vitamina E y C, compuestos fenólicos, ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas, lo que la convierte en una fuente muy importante de compuestos bioactivos. Estas propiedades le confieren a esta flor efectos anticancerígenos, cardioprotectores, diuréticos, antiinflamatorios y antimicrobianos ejerciendo así acción protectora contra el daño celular y peroxidación de lípidos (Jabeur *et al.*, 2017).

El yogur, uno de los productos lácteos fermentados más consumidos en el mundo, es capaz de asegurar el aporte diario de nutrientes y traer impactos positivos en la salud de los consumidores debido a sus cultivos activos que promueven una digestión saludable y estimulan el sistema inmunológico, brindando beneficios para la salud (Silva *et al.*, 2019); sin embargo, la mayoría de los yogures comerciales no conservan adecuadamente los compuestos bioactivos que favorezca mayor actividad antioxidante, además no existen investigaciones sobre el uso de la flor de jamaica como fuente de compuestos bioactivos para enriquecer el yogurt. Por lo que el presente trabajo pretende

elaborar microcápsulas de suero de leche para conservar compuestos bioactivos de flor de jamaica en incorporarlos en un producto fermentado como el yogurt para favorecer mayor aporte funcional y calidad sensorial.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### Preparación de las microcápsulas

El suero de leche fue obtenido a partir de la coagulación enzimática de la leche previamente pasteurizada a 72 °C por 15 s. Una vez obtenido el suero se filtró con la ayuda de una manta cielo previamente esterilizada, posteriormente se le aplicó una pasteurización para eliminar bacterias que pudieron ser contraídas en la manipulación del suero al ser recolectado, esto se realizó a una temperatura de 65 ±1 °C por 20 min. Cuando el suero se enfrió hasta una temperatura de 30 °C ±1 °C fue refrigerado a una temperatura de 4 °C ±1 °C hasta el momento de su uso. La flor de jamaica fue triturada en una licuadora, para obtener partículas más pequeñas. Posteriormente se realizó una extracción en una solución 1:1 de jamaica - suero de leche. La solución obtenida fue colocada directamente en el rotavapor, a una temperatura de 50 °C por 1 h, posteriormente se filtró y se le agregaron 50 mL de suero de leche al residuo de jamaica obtenido en el papel filtro (No.4, marca Great Value, EUA). La solución fue colocada nuevamente en el rotavapor por 1 h a una temperatura de 50 °C, se filtró y se juntaron las dos extracciones obtenidas, las cuales fueron colocadas en tubos Falcón de 15 mL y posteriormente fueron llevadas a la centrifuga a 5000 rpm por un tiempo de 10 min. En todas las extracciones fueron determinados los sólidos totales, con este dato y para cada preparación fue calculada la cantidad de encapsulante dependiendo las condiciones para cada muestra, es decir, a cada muestra se le agregaron diferentes cantidades de maltodextrina y caseinato de sodio para ajustar la cantidad de sólidos que requería cada una dependiendo así los diferentes tratamientos. Una vez que se agregó a cada una de las muestras el encapsulante indicado fueron homogenizadas cada una en el equipo Ultra-Turrax, a 14000 rpm por un tiempo de 20 min. Después se realizó el secado de las muestras en un secador por aspersion bajo las condiciones de secado establecidas por Naddaf (2012), con una temperatura de entrada de 127-133 °C, mientras que la temperatura de salida fue de 76-88 °C, presión de aire 1.5 MPa y una potencia 4 kW.

#### Preparación del yogurt

El yogurt se realizó utilizando un cultivo láctico con bacterias *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, y se incubó a una temperatura de 45 ± 1°C, durante 5 h. Transcurrido el tiempo se enfrió a una temperatura de 15 ± 1°C y enseguida se refrigeró a una temperatura de 5 ± 1°C de 12-24 h. Al día siguiente se desnató y se homogeneizó y se almacenó en vasos de plástico hasta su uso, posteriormente a cada muestra se le agrego 3 % de las microcápsulas previamente preparadas. Los tratamientos que se aplicaron al yogurt fueron las distintas microcápsulas que a continuación se describen: T1: Yogurt natural sin microcápsulas, T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche, T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de maltodextrina. T4: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% sólidos de caseinato de sodio. Donde las variables de respuesta analizadas fueron las siguientes:

#### Actividad funcional del yogurt

Para la actividad funcional del yogurt se tomaron 30 mg del yogurt y se agregaron 2 mL de etanol al 50 %, la mezcla se agitó por 3 min y posteriormente se centrifugó en una microcentrifuga a 10000 rpm por 10 min a 4 °C, pasando el tiempo se colocó el sobrenadante en tubos Eppendorf, se utilizó para realizar la actividad antioxidante y el contenido de fenoles del yogurt.

## Contenido Total de Compuestos Fenólicos

El sobrenadante se utilizó para cuantificar fenoles con el reactivo Folin-Ciocalteu de acuerdo con lo propuesto por Georgé *et al.*, (2005). Para lo cual, se tomaron 25  $\mu\text{L}$  del sobrenadante y se diluyeron en alcohol metílico al 80%, se añadieron 25  $\mu\text{L}$  de Folin y se reposó por 7 min posteriormente se mezclaron con 25  $\mu\text{L}$  de carbonato sódico al 7.5%. Una vez que se realizó la mezcla, se dejó en obscuridad durante 30 min a 40 °C. Transcurrido el tiempo, se añadieron 200  $\mu\text{L}$  de agua destilada y se midió la absorbancia a 760 nm en un lector de microplacas. Previamente se realizó una curva patrón usando ácido gálico estándar. Los fenoles totales fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por g de muestra (mg EAG /g de muestra).

## Actividad Antioxidante por el radical DPPH

El efecto antioxidante de las muestras sobre el DPPH se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Brand-Williams, *et al.*, (1995). Se mezclaron 5  $\mu\text{L}$  del sobrenadante de la muestra con 295  $\mu\text{L}$  del reactivo de una solución de 60 mM en metanol del radical DPPH, se homogeneizaron y se dejaron reposar por 30 min en la oscuridad, posteriormente se midió la absorbancia a 517 nm en un lector de microplacas. Previamente se realizó una curva patrón usando Trolox como estándar. La inhibición de DPPH se expresó se expresó  $\mu\text{M}$  Trolox / g de muestra.

## Actividad Antioxidante por el radical ABTS

El efecto antioxidante de las muestras sobre el ABTS se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Van den Berg (1999). Primeramente, la mezcla de una solución acuosa de persulfato potásico de 140 mM y ABTS a 7 mM, se dejó reposar de 12 a 14 h a 4°C y en la oscuridad. La solución de trabajo se le coloca 500  $\mu\text{L}$  y se agregó 20 25 mL de etanol o buffer de fosfatos, posteriormente se realizó una sonicación por 3 min y se verifico la absorbancia en un espectrofotómetro a 734 nm con un lector de microplacas. La inhibición de ABTS se expresó  $\mu\text{M}$  Trolox / g de muestra.

## Evaluación Sensorial

Las muestras de yogurt fueron sometidas a evaluación sensorial de nivel de agrado, utilizando la prueba de escala hedónica, se sirvieron 20 g de muestra a 50 panelistas no entrenados con edades de 22 a 50 años, de ambos sexos, los jueces evaluaron su nivel de agrado por color, sabor, consistencia y olor en el yogurt. Para lo cual se utilizó una escala hedónica de 5 puntos (Schlossareck y Ross, 2020).

## Diseño Experimental

El diseño experimental para medir las variables de respuesta relacionadas con la textura, actividad antioxidante y contenido de total de compuestos fenólicos fue completamente al azar, donde se aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias por la prueba de Tukey con un  $p \leq 0.05$ . Mientras que para el análisis sensorial se aplicó un diseño experimental bloques al azar y una prueba de comparación de medias por la prueba de LSD con un  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad funcional

El contenido de polifenoles en diversos tipos de yogures enriquecidos con frutas y vegetales es muy variable y dependerá de la fuente de polifenoles es decir de frutas, zumos de frutas polvos o extractos frutas o flores que comestibles; que tienen el potencial de ser utilizados como ingredientes funcionales en la industria alimentaria, incluido el sector lácteo (Coisson *et al.*, 2005; Wallace y Giusti 2008). De acuerdo con los resultados de la Tabla 1, el mejor yogurt que conservó los compuestos fenólicos de



la flor de jamaica fue el Tratamiento T2 que está constituido por el material de pared suero de leche, ya que este no contenía ningún tipo de encapsulante adicional. Mientras que el Tratamiento T3 constituido por el material de pared suero de leche con 10% maltodextrina conservó en menor cantidad los compuestos fenólicos. Según Oliveira *et al.*, (2015), los compuestos fenólicos tienen una afinidad significativa por las proteínas, lo que resulta en la formación de complejos solubles que pueden aumentar su tamaño, incluso formando sedimentos. Así mismo el contenido total de compuestos fenólicos fue mayor en el presente trabajo de investigación para los tratamientos propuestos con microcápsulas de extractos de flor de jamaica con respecto a un yogurt elaborado con microcápsulas elaboradas con extracto de flor de jamaica bajo un sistema de doble emulsión y que se obtuvieron por gelificación iónica (De Moura *et al.*, 2019).

Para explicar la variabilidad en la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos y representada por las antocianinas presentes en los extractos de flor de jamaica, se ha reportado que son altamente inestables y fácilmente susceptibles a la degradación. En los productos lácteos, la estabilidad de las antocianinas puede verse afectada por el pH y por la presencia de proteínas (Oliveira *et al.*, 2015). Se observó que el Tratamiento T2 constituido por el material de pared suero de leche favoreció mayor actividad antioxidante para el radical ABTS y DPPH. Oancea y Hasan (2018), realizaron la evaluación de la actividad antioxidante de antocianinas del extracto de piel de cerezas encapsulados por liofilización utilizando como materiales de pared goma acacia y proteína de suero de leche, donde se observó que el aislado de proteína de suero resulta ser una buena opción para proteger compuestos fenólicos ante los ácidos del estómago. La actividad antioxidante para el radical DPPH en el presente trabajo de investigación fue similar respecto a los resultados reportados por Zabaleta *et al.*, (2013), quienes prepararon un yogurt estandarizado añadido con aceite de flor de jamaica con una dosis de 150 ppm y encontraron un valor de 33.33  $\mu\text{M}$  Trolox /g. Así mismo se observó que el Tratamiento T1 constituido por el yogurt natural presentó la menor actividad antioxidante para el radical ABTS, lo anterior se a que no presenta extracto de flor de jamaica. Además, los tratamientos con material de pared suero de leche con 10% de maltodextrina y 10% de caseinato expresaron menor actividad antioxidante para el radical ABTS, con respecto al extracto de jamaica encapsulado con suero de leche. Lo anterior puede ser aplicando una cantidad moderada de biopolímeros dando como resultado una mayor actividad antioxidante, debido a que el exceso de biopolímeros conduce a una floculación reducida disminuyendo la actividad antioxidante (Rezvanhah *et al.*, 2020). Además al utilizar una mezcla de dos materiales encapsulantes como son el suero de leche en una mezcla con maltodextrina y caseinato de sodio favorecen una menor Temperatura de Transición Vítrea (Tg), así mismo una concentración de los sólidos en las mezclas que se someten a secado para obtener las microcápsulas puede favorecer reacciones de deterioro relacionadas con pardeamiento no enzimático, dando lugar a cambios de color en el producto (Ross, 1995), que está relacionado con la degradación de los pigmentos de la flor de jamaica que se microencapsulan. Además, se ha informado que la proteína de suero tiene actividad antioxidante, que puede estar relacionada con sus grupos sulfhídrido (-SH) que pueden reducir los radicales libres (Premi y Sharma, 2017).

Para el caso del radical DPPH no se encontró diferencia estadísticamente significativa para ninguno de los tratamientos; sin embargo, se ha encontrado que la reacción que genera en los flavonoides como las antocianinas presentes en las microcápsulas con extractos de flor de jamaica se pueden atribuir al número múltiple de grupos hidroxilo y, en particular, a la contribución de los grupos orto-di-hidroxilo ubicados en el anillo B de la molécula de flavonoides (Salah, 1995). La presencia de grupos orto-di-hidroxilo confiere una alta estabilidad a la molécula una vez que ha atrapado el radical, proceso que es importante para la participación de la deslocalización y por lo tanto, la estabilización del intermediario radical fenólico en los flavonoides como las antocianinas (Bors *et al.*, 1995). La

actividad antioxidante del radical DPPH está dada por las propiedades fisicoquímicas particulares de los aminoácidos que forman la secuencia de los péptidos en el yogurt lo que resulta en actividad eliminadora de radicales DPPH en péptidos aislados de leche fermentada con *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus (Kudoh *et al.*, 2001). Para la actividad antioxidante por el radical DPPH, se encontró mayor actividad antioxidante en los yogures con microcápsulas de flor de jamaica con respecto a yogurt de flores de azafrán, (Cerdeña-Bernad, et al., 2023), así mismo Flores-Mancha et al., (2021) encontró menor actividad antioxidante para el radical DPPH para el yogurt natural, con respecto al yogurt sin microcápsulas realizado en el presente trabajo. Lo anterior se debe a la calidad de la leche dada por la presencia de compuestos bioactivos como los aminoácidos tirosina y cisteína, vitaminas A y E, cultivos bacterianos para la realización de yogurt, presencia de péptidos bioactivos producto de la fermentación de la leche (Grażyna et al., 2017). Las antocianinas presentes en los yogures como el que se elaboró en el presente trabajo de investigación y que le confieren actividad antioxidante pueden formar complejos con macromoléculas que protegen a las antocianinas de la degradación (Jing y Giusti 2005). Según Oliveira *et al.*, (2015), los polifenoles tienen una afinidad significativa por las proteínas, lo que resulta en la formación de complejos solubles que pueden aumentar su tamaño, incluso formando sedimentos.

Tabla 1. Contenido de fenoles y capacidad antioxidante de yogurt con microcápsulas de flor de jamaica con diferentes materiales de pared.

Tratamiento	Fenoles	DPPH	ABTS
	mg EAG•g <sup>-1</sup>	μM Trolox•g <sup>-1</sup>	
T1: Yogurt natural sin microcápsulas	NP	30.14 ±0.15 a	10.83 ±0.14 c
T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche	45.35 ±0.10 b*	36.62 ±0.09 a	27.05 ±0.18 a
T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos de maltodextrina	34.13 ±0.15 a	31.76 ±0.12 a	17.5 ±0.17 b
T4: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos caseinato de sodio	34.14 ±0.20 b	33.84±0.05a	15.72 ±0.21 b

Los valores corresponden con la media ± el error estándar (n=3); \*Letras iguales en cada columna son significativamente iguales (Tukey, p ≤ 0.05). NP: No Presento. Fuente: Elaboración Propia (2023).

#### Evaluación sensorial

De acuerdo con los resultados de la Figura 1, el Tratamiento T2 que representa el yogurt con microencapsulados de flor de jamaica encapsulados con suero de leche presentó el mayor grado de aceptación para los atributos textura, sabor, color y aroma en un nivel de agrado entre 4 y 5 ubicándose estos atributos entre "Me gusta moderadamente" y " Me gusta mucho". Se observó que en la adición de las microcápsulas en el Tratamiento T2 tuvo un efecto positivo en el color ya que es uno de los factores más importantes para determinar la aceptación del consumidor, esto concuerda con la adición de microcápsulas de antocianinas obtenidas por gelificación iónica provenientes de flor de jamaica, que impactaron positivamente en los parámetros sensoriales de un yogurt natural (De Moura *et al.*, 2022). Para el caso del Tratamiento T1 representado como yogurt natural que se propone como

control presenta un mayor nivel de aceptación en los atributos sabor, aroma y textura con respecto a los otros tratamientos, lo que coincide con Pinoargote (2021); ya que los consumidores están habituados a patrones sensoriales típicos a los atributos que se presentaron mayor aceptación en el control y que se encuentran en el yogurt comercial. Para el caso del tratamiento T4 que representa el yogurt con microencapsulas de flor de jamaica suero de leche con 10% caseinato presentó la menor aceptación para los atributos color, sabor y textura; debido a que el yogurt se hace demasiado espeso como lo menciona Hunk-Iriart (2014), en donde gelificaron emulsiones de caseinato de sodio como una alternativa a las grasas trans, dado que el caseinato tiene propiedades de generación de textura ya que tiene la capacidad de formar geles, mientras que el Tratamiento T3 que representa el yogurt con microencapsulado jamaica suero de leche con 10% de maltodextrina presentó la menor aceptación para el atributo sabor, esto se atribuye a que la maltodextrina que tiene un sabor y olor moderadamente dulce (Corrêa-Filho, 2019).

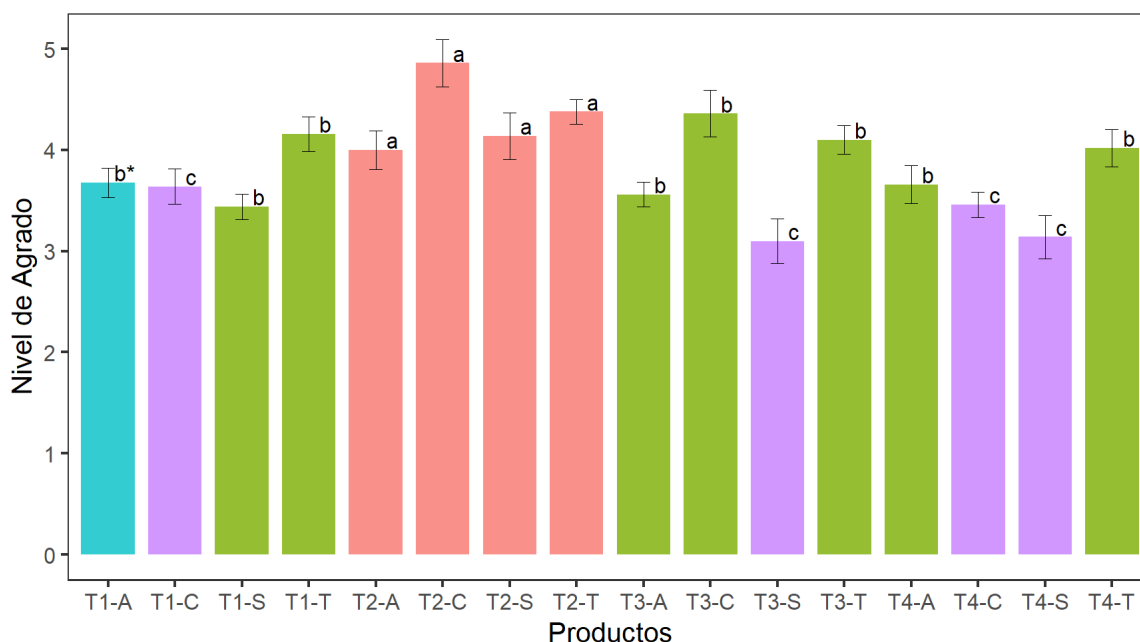


Figura 1: Análisis sensorial de preferencia por atributos en yogurt con microcápsulas de flor de jamaica con diferentes materiales de pared. \*Letras iguales no son significativamente diferentes con un  $P \leq 0.05$ , para la prueba LSD. A: Aroma; C: Color; S: Sabor; T: Textura. T1: Yogurt natural sin microcápsulas; T2: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche; T3: Yogurt natural con extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos de maltodextrina; T4: Extracto de flor de jamaica encapsulado con suero de leche y 10% solidos de caseinato de sodio.

## CONCLUSIONES

De las cuatro formulaciones propuestas de yogurt con las diferentes microcápsulas para favorecer la estabilización del yogurt, se encontró que la bebida fermentada que presento mayor contenido de compuestos fenólicos y mayor actividad antioxidante por el radical ABTS y DPPH, fue el yogurt que incorporo en su formulación compuestos bioactivos de flor jamaica microencapsulados con suero de leche. Así mismo se encontró que esta misma bebida fue la que presentó un mayor grado de aceptación en atributos sensoriales como consistencia, sabor, color y olor.

### BIBLIOGRAFÍA

- Belščak-Cvitanović, A., Bušić, A., Barišić, L., Vrsaljko, D., Karlović, S., Špoljarić, I., & Komes, D. (2016). Emulsion templated microencapsulation of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and  $\beta$ -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. *Food Hydrocolloids*, 57, 139-152.
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., & Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69, 385-394.
- Bors, W., Michel, C., & Schikora, S. (1995). Interaction of flavonoids with ascorbate and determination of their univalent redox potentials: A pulse radiolysis study. *Free Radical Biology and Medicine*, 19(1), 45-52.
- Brand-Williams, W. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Bugall, A. R. (2011). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos de cuatro frutos de interés comercial en Colombia y actividad citotóxica in vitro en la línea celular de fibrosarcoma HT1080. *Tesis de Posgrado*. Bogotá, Colombia.
- Cerdá-Bernad, D., Valero-Cases, E., Pastor, J. J., & Frutos, M. J. (2023). Microencapsulated saffron floral waste extracts as functional ingredients for antioxidant fortification of yogurt: Stability during the storage. *LWT-Food Science Technology*, 183, 114976.
- Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W., & McClements, D. J. (2015). Enhanced stability of anthocyanin-based color in model beverage systems through whey protein isolate complexation. *Food Research International*, 76, 761-768.
- Coisson, J., Travaglia, F., G.Piana, Capasso, M., & Arlorioa, M. (2005). *Euterpe oleracea* juice as a functional pigment for yogurt. *Food Research International*, 38, 893-897.
- Corrêa-Filho, L. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Sciences*, 9(3), 571.
- De Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Dutra Alvim, I., & Hubinger, M. D. (2022). Microencapsulation of hibiscus bioactives and its application in yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16468.
- De Moura, S. C., Schettini, G. N., Garcia, A. O., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019). Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1500-1515.
- Flores-Mancha, M. A., Ruíz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Vega, R., Santellano-Estrada, E., & Chávez-Martínez, A. (2021). Effect of encapsulated beet extracts (*Beta vulgaris*) added to yogurt on the physicochemical characteristics and antioxidant activity. *Molecules*, 26(16), 4768.
- Garro, A., Cardona, W., Rojano, B., Robledo, S., & Alzate, F. (2015). Actividad antioxidante y citotóxica de extractos de *Pilea dauciodora* Wedd (Urticaceae). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, (1), 88-97.

- Georgé, S. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1370-1373.
- Grażyna, C., Hanna, C., Adam, A., & Magdalena, B. M. (2017). Natural antioxidants in milk and dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 70(2), 165-178.
- Huck-Iriart, C., Rincón Cardona, J. A., Montes de Oca Avalos, J. M., & Candal, R. J. (2014). Gelificación de emulsiones de caseinato de sodio como alternativa a las grasas trans. *Ciencia e Investigación*, 5-16.
- Jabeur, I., Pereira, E., Barros, L., Calhelha, R. C., Soković, M., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2017). *Hibiscus sabdariffa* L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. *Food Research International*, 100, 717-723.
- Jing, P., & Giusti, M. M. (2005). Characterization of anthocyanin-rich waste from purple corncobs (*Zea mays* L.) and its application to color milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8775-8781.
- Kudoh, Y., Matsuda, S., Igoshi, K., & Oki, T. (2001). Antioxidative peptide from milk fermented with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* IFO13953. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 48(1), 44-50.
- Naddaf, L. (2012). Secado por aspersión de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1), 020-027.
- Oancea, A.-M., & Hasan, M. (2018). Functional evaluation of microencapsulated anthocyanins from sour cherries skins extract in whey proteins isolate. *LWT - Food Science and Technology*, 129-134.
- Oliveira, A., Alexandre, E. M., Coelho, M., Lopes, C., Almeida, D. P., & Pintado, M. (2015). Incorporation of strawberries preparation in yoghurt: Impact on phytochemicals and milk proteins. *Food Chemistry*, 171, 370-378.
- Pinoargote, P. A. (Noviembre de 2021). Efecto del uso de edulcorantes y cúrcuma en propiedades fisicoquímicas y sensoriales del yogur natural. *Trabajo de Tesis*. Honduras.
- Pires, T. C., Barros, L., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2019). Edible flowers: Emerging components in the diet. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 244-258.
- Premi, M., & Sharma, H. (2017). Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. *International Journal of Biological*, 105, 1232-1240.
- Pudziuelyte, L., Marksa, M., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D. M., & Bernatoniene, J. (2019). Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* herb ethanolic extract by spray-drying: impact of resistant-maltodextrin complemented with sodium caseinate, skim milk, and beta-cyclodextrin on the quality of spray-dried powders. *Molecules*, 24(8), 1461.
- Rezvankhah, A., Emam-Djomeh, Z., & Askari, G. (2020). Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. *Drying Technology*, 38(1-2), 235-258.

- Ribeiro, A. M., Shahgol, M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020). Microencapsulation of Vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 108, 106029.
- Robert, P., Gorená, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(7), 1386-1394.
- Roos, Y. (1995). Characterization of food polymers using state diagrams. *Journal of Food Engineering*, 24(3), 339-360.
- Salah, N., Miller, N., Paganga, G., Tijburg, L., Bolwell, G., & Rice-Evans, C. (1995). Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants. *Archives of biochemistry and biophysics*, 322(2), 339-346.
- Schlossareck, C., & Ross, C. F. (2020). Consumer sensory evaluation of aftertaste intensity and liking of spicy paneer cheese. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(7), 2710-2718.
- Silva, S. C., Fernandes, I. P., Barros, L., Fernandes, Â., Alves, M. J., Calhelha, R. C., & Barreiro, M. F. (2019). Spray-dried *Spirulina platensis* as an effective ingredient to improve yogurt formulations: Testing different encapsulating solutions. *Journal of Functional Foods*, 60, 103427.
- Van den Berg, H. (1999). Application of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity of measurement of mixture. *Journal of Agricultural and Food*, 511-517.
- Wallace, T., & Giusti, M. (2008). Determination of color, pigment, and phenolic stability in yogurt systems colored with nonacylated anthocyanins from *Berberis boliviana L.* as compared to other natural/synthetic colorants. *Journal of Food Science*, 73(4), 241-248.
- Zabaleta, K. (2013). Elaboración de un yogur estandarizado con añadidos de *Hibiscus Sabdariffa* (Flor de Jamaica). *Trabajo de tesis*. Cartagena de Indias.
- Zhao, C., & Ashaolu, T. J. (2020). Bioactivity and safety of whey peptides, *LWT: Food Science and Technology*, 134, 109935.

# Effect of the addition of chickpea protein on the physicochemical properties of low-fat yogurt

Dzul-Cauich, J.G<sup>1\*</sup>, Malagón-Ruiz, O<sup>1</sup>, Herrera-Méndez, C.H<sup>1</sup>, García-Vieyra, M.I<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Privada de Arteaga, s/n, 38900, Salvatierra, Guanajuato., México. [jorge.dzul@ugto.mx](mailto:jorge.dzul@ugto.mx), orcid.org/0000-0003-1087-3369; [o.malagonruiz@ugto.mx](mailto:o.malagonruiz@ugto.mx); [isabel.garcia@ugto.mx](mailto:isabel.garcia@ugto.mx), orcid.org/0000-0002-4029-7094; [chmendez@ugto.mx](mailto:chmendez@ugto.mx), orcid.org/0000-0002-7779-7105.

## Abstract:

In this work, the effect of concentration of chickpea protein and time fermentation on the properties of low-fat yogurt was evaluated and compared with two control, fat complete (FC) and reduced fat (RF). The results show that the concentration of chickpea protein affected the water-holding capacity of the yogurt but had no significant effect on acidity values; however, the treatment that presented the best WHC was Y0.5CP8h with 97.47 %. In the other hand the time of fermentation affected de acidity of the yogurts, with the fermentation time of 8 h being the one that affected the acidity. Both parameters, concentration of protein and time of fermentation, showed significant effects on viscosity of the yogurt, but the factor that had a greater effect on the viscosity was the protein concentration, although the treatment that presented de higher initial viscosity value was Y0.5CP8h. The results of the sensory properties demonstrated that there was no significant difference in overall acceptability of the different yogurt treatments. These results demonstrated that chickpea protein is a potential alternative as a source to produce functional dairy foods.

Keywords: viscosity, acidity, sensory, acceptability, chickpea, yogurt.

## INTRODUCTION

Yogurt, a fermented dairy beverage highly valued for its nutritional composition, has gained popularity among consumers. The rising demand for low-fat yogurt stems from the well-documented association between fat intake and an increased risk of obesity, arteriosclerosis, hypertension, and certain cancers (Ribes *et al.*, 2020). Nevertheless, reducing yogurt's fat content can influence its sensory attributes and physical properties (Zhao *et al.*, 2018; Lamarche, 2021). To tackle this concern, diverse alternatives to fat have been explored, including whey protein gel emulsion microparticles (Li *et al.*, 2022), chia mucilage (Ribes *et al.*, 2020), and agavins (Santiago-García *et al.*, 2021). However, recent lifestyle trends favoring healthier choices have prompted the investigation of plant proteins as substitutes for animal proteins in food products (Gao *et al.*, 2015). The incorporation of high-quality plant proteins in the diet contributes to a reduced incidence of health conditions such as cancer, diabetes, and cardiovascular ailments. Plant proteins possess functional properties encompassing foam formation, gelation, thickening, and emulsification, in addition to exhibiting antioxidant, antifungal, and antibacterial activities, thereby making them valuable components in food formulations (Kumar *et al.*, 2021). The structural differences between plant and animal proteins pose challenges for direct substitution in various products, significantly affecting sensory properties (Day *et al.*, 2022).

Historically, legumes were associated with poverty, but they have now gained recognition as a noteworthy source of plant proteins. Legumes exhibit high levels of lysine, aspartic acid, and arginine, while their content of methionine, cysteine, and tryptophan is comparatively low (Bessada *et al.*, 2019; Venkidasamy *et al.*, 2019). Nevertheless, the advantageous gelling, thickening, and emulsifying properties of legume proteins make them valuable as functional food ingredients, enabling texture modification in food products (Bessada *et al.*, 2019; Shevkani *et al.*, 2019). Chickpeas, among legumes, have emerged as a crop of significant interest due to their status as a complete protein devoid of allergenicity and phytoestrogens. Chickpea flour, with over 70% protein

content, has found application in infant foods and as an isolated ingredient. Legumes, including chickpeas, possess not only diverse nutritional compositions but are also effectively categorized based on their functionality (Goldstein and Reifen, 2022). Chickpeas, abundant in protein, boast a content ranging from 19 to 29 g/100 g, coupled with vitamins and minerals of higher biological value compared to other legume proteins, which range from 75 to 85 g/100 g (Sofi *et al.*, 2020). Recent investigations have explored the effects of oat proteins (Brückner-Gühmann *et al.*, 2019), hemp protein (Dabija *et al.*, 2018), and hydrolyzed grape seed protein (Varedesara *et al.*, 2021) on the physicochemical properties of yogurt. Nevertheless, no study has investigated the addition of chickpea protein and its impact on the fundamental properties of yogurt. Hence, this study aimed to evaluate the influence of chickpea protein supplementation on the physicochemical properties of low-fat yogurt.

## **MATERIALS AND METHODS**

Chickpea seeds were obtained from a local market in the city of Salvatierra, Guanajuato, Mexico. All reagents used in this study were of analytical grade.

### **Chickpea protein extraction**

Chickpea protein was obtained from chickpea flour through alkaline extraction. To extract the protein, the chickpea flour underwent defatting using the Soxhlet method with hexane as the solvent. Subsequently, the defatted flour was subjected to drying for 24 h at 35 °C to remove any remaining hexane. Once the excess hexane was eliminated, protein extraction was carried out following the methodology proposed by Ghribi *et al.* (2015) with slight modifications. Initially, the defatted flour was mixed with distilled water at a ratio of 1:10 and stirred for 10 minutes at 800 rpm. Then, the pH of the mixture was adjusted to 9.5 using 0.5 N sodium hydroxide and stirring continued for 40 minutes at 800 rpm. The resulting alkaline extract was centrifuged at 5000 rpm for 15 minutes at 4 °C, and the supernatant was filtered using filter paper. The pH of the filtrate was subsequently adjusted to 4.5 (isoelectric point) by adding 2.0 N HCl with continuous stirring for 30 minutes. The precipitated protein was isolated through centrifugation at 5000 rpm for 20 minutes at 4 °C. The obtained isolate underwent three washes with distilled water at a ratio of 1:10, followed by centrifugation at 5000 rpm for 20 minutes at 4 °C. Finally, the sediment was dried in a drying oven at 50 °C for 42 hours.

### **Proximal analysis of chickpea protein**

The protein content was determined using the Bradford method, the fat, moisture, and ash content were determined according to the procedures described in the AOAC (2005), methods 920.39, 925.09 and 923.03, respectively.

### **Zeta potential**

The chickpea protein was dissolved in deionized water to prepare a 1 mg/mL dispersion using a magnetic stirrer at 300 r/min for 5 min. The mean zeta potential of the dispersion was measured by dynamic light scattering using a particle size analyzer Mastersizer 3000 (Malvern, Worcestershire, UK) at room temperature.

### **Protein solubility**

The protein solubility was determined from pH 4.5 to pH 9.0 using the method reported by Liang and Tang (2013), with some modifications. Protein solutions in distilled water were prepared with magnetic stirring for one hour, then centrifuged at 5000 rpm at 20 °C. The supernatant was recovered,



and the protein content was determined by the Bradford method (1976). Protein content at pH 12.0 or 9.0 was defined as 100% solubility.

### **Yogurt preparation and fermentation**

A 2<sup>2</sup>-factorial design was employed for the preparation of chickpea protein-enriched yogurt, with the factors being protein concentration (0.2% and 0.5%) and fermentation time (5 and 8 hours), the levels of the factors were chosen to evaluate the minimal effect on the properties of the treatments. Additionally, two control treatments were prepared, one complete in fat (FC) and another reduced in fat (RF) and fermented for 5 h. These controls were used in the physicochemical properties of yogurts and sensory analysis to compare them with those added with chickpea protein. Yogurt was prepared using a combination of whole milk powder and skimmed milk powder to achieve a 1.3% fat content in RF and 2.6% fat content in FC. Additionally, a sugar quantity of 60 grams per liter of milk was utilized. All solid components, including chickpea protein, were hydrated for 12 hours. Subsequently, the mixture was homogenized and pasteurized at 83 °C for 12 minutes. After cooling the milk to 45 °C, it was inoculated with a blend of lactic acid bacteria (YC-X11Yo-Flex, Chr. Hansen, Denmark). Finally, fermentation took place at 45 °C for the duration specified by the experimental design. The different yogurt treatment was coded as follows: Y0.2CP5h (yogurt added with 0.2 % chickpea protein for 5 hours), Y0.2CP8h (yogurt added with 0.2 % chickpea protein for 8 hours), Y0.5CP5h (yogurt added with 0.5 % chickpea protein for 5 hours) and Y0.5CP8h (yogurt added with 0.5 % chickpea protein for 8 hours).

### **Physicochemical properties of yogurts**

#### **Fat content, acidity, pH, and total solids of yogurt samples**

The fat content was determined using the Gerber method, acidity was measured using titratable acidity and expressed in Dornic degrees (°D), and the total solids content was determined by oven drying (AOAC, 2005). To measure pH, a pH meter HI 2221 was used. To measure the pH of the samples, the pH meter was first calibrated by 2 buffers 4 and 7. All analyses were performed following the yogurt preparation period.

#### **Water holding capacity (WHC)**

The water-holding capacity was assessed in yogurt samples after 7 days of preparation following the method outlined by Lalau *et al.* (2017) with slight modifications. Ten grams of each yogurt treatment were placed in 15 mL conical tubes at 4 °C ± 1 °C and subjected to centrifugation at 1250 x g for 10 minutes at 4 °C ± 1 °C. The resulting supernatant whey was meticulously decanted and weighed to determine the water-holding capacity, which was computed as the weight difference between the sample and the supernatant whey.

#### **Yogurt viscosity**

Yogurt viscosity was measured using a Brookfield RVF viscometer equipped with a number 4 needle at various speeds (10 rpm-100 rpm) to examine the relationship between viscosity and increasing speed. The measured viscosities were reported in Pa.s and the speed were converted from rpm to 1/s. The sample temperature at the time of viscosity reading was 15°C and its volume was 100 ml. This test was performed for each sample in three replications.

#### **Sensory properties of yogurts**

The sensory attributes of the yogurts were evaluated three days after preparation by 47 untrained people between 18 and 30 years old (28 men and 19 women) who regularly consume fermented dairy drinks. Randomized samples of yogurt (20 mL each) were presented to participants in plastic cups and coded for blind evaluation. Odor, flavor, creaminess, viscosity, and general acceptance were rated

on a 9-point hedonic scale, with 9 indicating "extremely like" and 1 indicating "extremely dislike" (Meilgaard *et al.*, 1999).

### **Statistical analysis**

Experimental measurements were conducted in triplicate, and the obtained data were expressed as the mean  $\pm$  standard deviation. Variance analysis (ANOVA) was performed using a Tukey test with a 95% confidence level. To analyze the effect of protein concentration and fermentation time on the acidity, WHC and viscosity of the yogurts, it was used a factorial design 2<sup>2</sup>. Data analysis was conducted using Statgraphics (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc., Cambridge, MA, USA).

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Proximal composition of chickpea protein**

The proximal composition of chickpea protein was 81.6 % of protein, 2.3 % fat, 8.87 % moisture, 3.68 % ash and 3.5 % carbohydrate, these results are slightly different from those reported by Mesfin *et al.*, (2021) who used two different chickpea varieties, Arerti and Natoli, this difference is possibly due to the variety of chickpea since in this work the kabuli variety was used.

### **Solubility of protein**

The solubility of protein is very important for the formation of gels and foams and depends on the balance between the protein and the solvent besides to the protein-protein hydrophobic interaction (Ladjal-Ettoimi *et al.*, 2016), this interaction is a function of the surface charge, which is correlated with pH. The solubility characteristic of the protein at different pH are presented in the table 1. The lowest solubility of the protein occurred at low pH and as the pH increased, the percentage of solubility increased, with pH 9.0 presenting the highest value. Moser *et al.*, (2020) reported a similar value, they reported a solubility of 38% at pH 5.0 and 99% at pH between 8 and 10. According to Jones and McClements (2011) and Madadlou *et al.*, (2018), the low solubility at a pH close to the isoelectric point of the protein is due to the fact that they tend to aggregate due to the weak electrostatic repulsion that exists between them, in addition to the fact that at a pH close to the isoelectric point the water-protein interaction is minimal resulting in a low solubility and an increase in the tendency to precipitation (Gehring *et al.*, 2011). The figure 1 shows the surface net charge of the chickpea protein at different value of pH, as the pH increases, the Z potential gradually changes until it reaches a negative maximum. On the other hand, the charges reveal that slightly below pH 4.5 corresponds to the isoelectric region of the protein where the net charge is zero and therefore there is no electrostatic repulsion and the solubility of the protein at that point is very low. However, at high pH values, the increase in the net negative charge of the protein dissociates the aggregates and solubility may increase. Finally, the Z potential profile is agreeing with the solubility profile of the protein, which indicates that the solubility of the chickpea protein is related to the net surface charge of the protein.

Table 1. Solubility of chickpea protein at different pH

pH	Solubility (%)
4.5	2.98
6.0	33.57
7.0	56.13
7.5	62.97
9.0	92.96

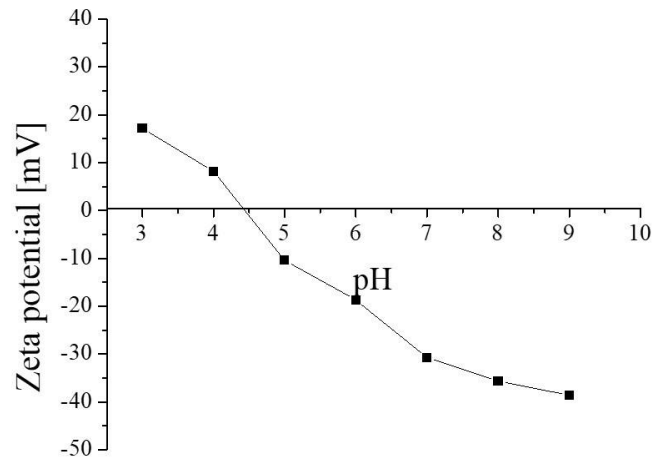


Figure 1. Zeta potential (net charge) at different pH (3.0-9.0) for chickpea protein.

### Physicochemical characteristics of yogurts

The results of the physicochemical characteristics of the different yogurt treatments are presented in table 1. For all yogurt treatments, the pH was below 5.0. According to De Vuyst *et al.*, 2001; Duboc and Mollet, 2001; Purwandari *et al.*, 2007, lower pH values indicate an increase in the production of lactic acid, which allows a reorganization and interconnection of the casein, resulting an increase in texture. There were some variations in the pH values, with the Y0.5CP8h treatment having the lowest value, followed by the Y0.2CP8H treatment, these values can be explained due to the duration of the fermentation time. Brückner-Gühmann *et al.*, (2019) found low pH values (4.0) in yogurt added with oat protein fermented for 24 hours. Fermentation time also influenced acidity values, with the treatments that presented the highest acidity ( $^{\circ}\text{D}$ ) being those fermented for 8 hours (Y0.2CP8h and Y0.5CP8h), this because there was greater conversion of lactose to lactic acid by lactic acid bacteria.

The WHC of the yogurt is closely connected to its microstructure, which can characterize the colloid properties. Yogurts supplemented with chickpea protein retained a higher quantity of water compared with FC and RF, as shown by the greater water holding capacity value. The content of chickpea protein had an effect on WHC of yogurts (Table 1). Comparing the two level of concentration of chickpea protein present in the different treatments of yogurts, it can be noted that a small amount of chickpea protein present in the yogurt, has a less percentage of WHC compared with the treatments of yogurt that had a relative high amount of protein. The data analysis, showed a statistically significant difference between the treatments that contained a higher concentration of chickpea protein and those that contained a low concentration of chickpea protein and that without chickpea protein.

Table 2. Effect of the addition of chickpea protein at different concentration and fermentation time on the physicochemical properties of low-fat yogurt.

Sample	pH	Acidity [°D]	Fat content after fermentation [%]	WHC [%]	Total solids [%]
FC	4.78±0.05 <sup>a</sup>	79.2±1.90 <sup>a</sup>	2.6±0.0 <sup>a</sup>	85.18±0.13 <sup>a</sup>	18.80±0.00 <sup>a</sup>
RF	4.72±0.03 <sup>a</sup>	77.6±2.02 <sup>a</sup>	1.3±0.0 <sup>b</sup>	81.09±0.24 <sup>b</sup>	16.00±0.00 <sup>b</sup>
Y0.2CP5h	4.82±0.07 <sup>a</sup>	77.5±2.12 <sup>a</sup>	1.3±0.0 <sup>b</sup>	95.50±0.14 <sup>c</sup>	16.20±0.01 <sup>c</sup>
Y0.2CP8h	4.55±0.03 <sup>b</sup>	84.0±1.41 <sup>ab</sup>	1.3±0.0 <sup>b</sup>	96.15±0.07 <sup>c</sup>	16.20±0.00 <sup>c</sup>
Y0.5CP5h	4.66±0.00 <sup>ab</sup>	78.5±2.12 <sup>ab</sup>	1.3±0.0 <sup>b</sup>	97.25±0.07 <sup>d</sup>	16.51±0.03 <sup>d</sup>
Y0.5CP8h	4.53±0.04 <sup>b</sup>	84.5±0.71 <sup>b</sup>	1.3±0.0 <sup>b</sup>	97.5.0±0.28 <sup>d</sup>	16.50±0.01 <sup>d</sup>

Different superscripts in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Tukey's test.

Values are presented as mean ± standard deviations.

## Protein Concentration Effect and Fermentation Time

### Effect on Acidity

Figure 2 shows the effect of chickpea protein concentration and fermentation time on the acidity values of yogurt treatments. It can be observed that the factor that had the greatest effect on acidity is the fermentation time, showing a linear effect, that is, as the fermentation time increases, the acidity of the yogurts increases. This can be explained by the fact that during the fermentation time of milk with lactic acid bacteria, lactose is converted into lactic acid, allowing acidification of the product. Soukoulis *et al.* (2007) found that as fermentation time increases, the pH of yogurt decreases. The analysis of variance shows an  $R^2$  value of 0.87, which is statistically acceptable at a 95% confidence level. On the other hand, it can be observed that the concentration had no significant effect on acidity values. The first-order regression equation of acidity as a function of concentration and fermentation time, Equation (1), was formulated with regression coefficients significant at a 95% confidence level:

$$\text{Acidity} = 65.4444 + 6.11111 * \text{concentration} + 2.27778 * \text{fermentation time} - 0.0555556 * \text{concentration} * \text{fermentation time}$$

Eq. (1)

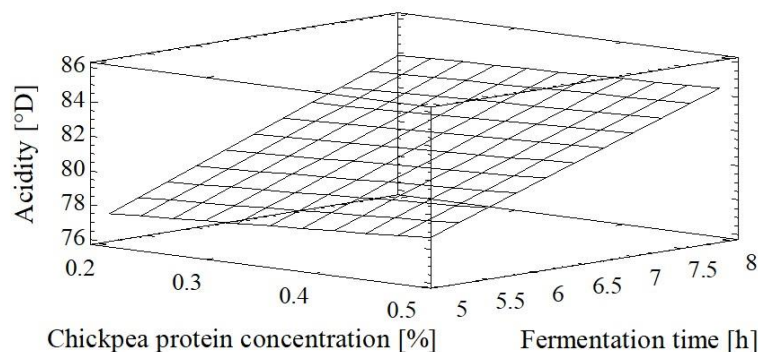


Figure 2. Response surface graph for the effect of chickpea protein concentration and fermentation time on the acidity of low-fat yogurt.

### Effect on Water Holding Capacity (WHC)

Figure 3 illustrates the effect of chickpea protein concentration and fermentation time on the water holding capacity (WHC) of the yogurts. Water holding capacity is a physical property related to product ability to retain water within its three-dimensional structure (Levy *et al.*, 2021; Canon *et al.*, 2022). The response surface for WHC of the yogurt samples demonstrates the effect of chickpea protein concentration on this property. The observed effect is directly proportional to the concentration, as increasing the protein concentration leads to an increase in water holding capacity. The behavior exhibited by the treatments with higher concentrations of chickpea protein is related with greater stability of the three-dimensional network due to an increase in matrix rearrangement. Brückner-Gühmann *et al.* (2019) reported that the addition of oat protein to yogurt resulted in increased water holding capacity. This property is crucial in yogurt as it affects the quality of the product during storage. High WHC values are closely related to syneresis, and therefore, it could be an advantage for improving the shelf life of yogurts. The analysis of variance shows an  $R^2$  value of 0.97, which is statistically acceptable at 95% confidence level. The first-order regression equation for WHC as a function of concentration and fermentation time, Equation (2), was formulated with regression coefficients significant at 95% confidence level:

$$\text{WHC} = 92.8056 + 8.05556 \cdot \text{concentration} + 0.305556 \cdot \text{fermentation time} - 0.444444 \cdot \text{concentration} \cdot \text{fermentation time}$$

Eq. (2)

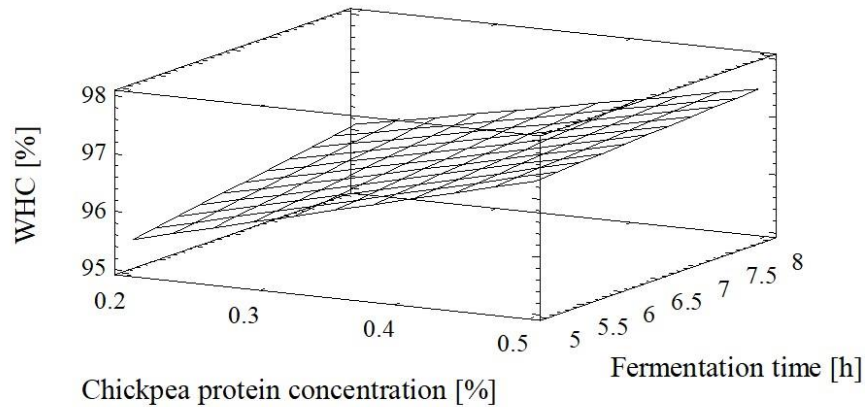


Figure 3. Response surface graph for the effect of chickpea protein concentration and fermentation time on the WHC of low-fat yogurt.

### Viscosity behavior of yogurts

The viscosity behavior of the yogurts is shown in Figure 4 as a function of shear rate. It can be observed that all yogurts exhibited shear-thinning behavior, where viscosity decreased as shear rate increased. However, as the shear rate continued to increase, all samples displayed Newtonian behavior. Additionally, in Figure 3, the yogurt with 0.5% chickpea protein fermented for 8 hours (Y0.5CP8h) had a relatively high viscosity, followed by Y0.5CP5h, while the Y0.2CP5h treatment presented the lowest initial viscosity value. Yogurts added with 0.5% chickpea protein exhibited pronounced shear-thinning behavior at low shear rates values, which could be related to a high degree of molecular unfolding with respect to the shear rate. The apparent viscosities of the yogurts showed a maximum at low shear rate, corresponds the shear stress value known as the yield stress. At this value all yogurts start to flow, decreasing viscosity as the applied shear rate increases. This behavior is typical of a pseudoplastic material. Veredesara *et al.* (2021), found that by adding hydrolyzed protein to yogurt the viscosity increases. On the other hand, Dabija *et al.* (2018) also found that yogurt with protein of hemp increases its viscosity.

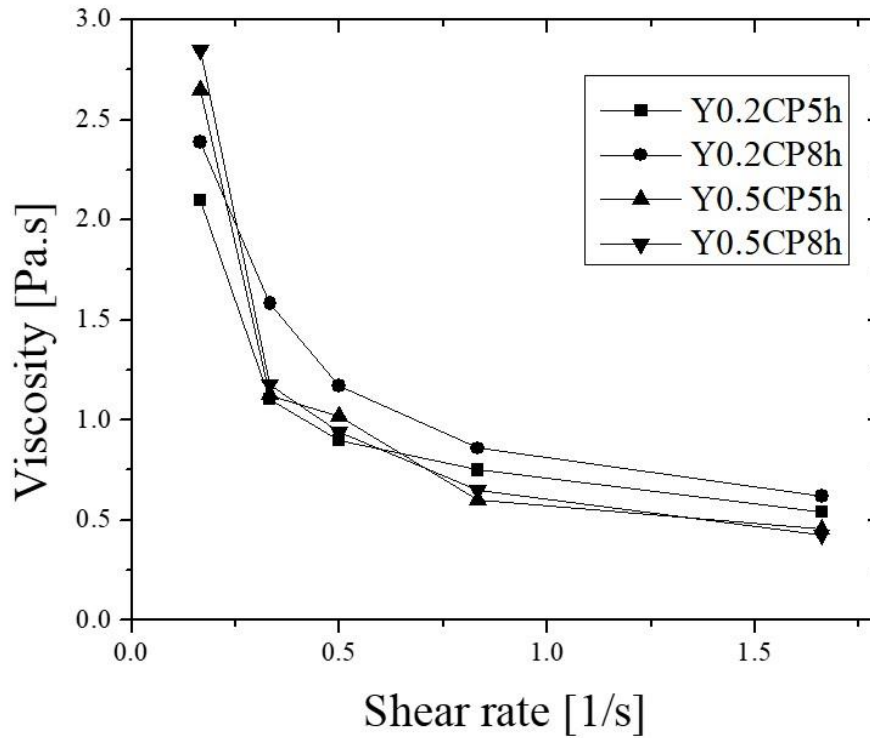


Figure 4. Shear rate dependence of viscosity of yogurts.

**Effect of concentration and fermentation time on viscosity.**

Figure 5 shows the response surface for viscosity. The analysis of variance presented an R<sup>2</sup> value of 0.93, which is statistically acceptable at 95% confidence level. The linear model for viscosity can be expressed by Equation (3), which was formulated with regression coefficients significant at 95% confidence level:

$$\text{Viscosity} = 1.58722 + 1.43889 \cdot \text{concentration} + 0.0672222 \cdot \text{fermentation time} - 0.0111111 \cdot \text{concentration} \cdot \text{fermentation time}$$

Eq. (3)

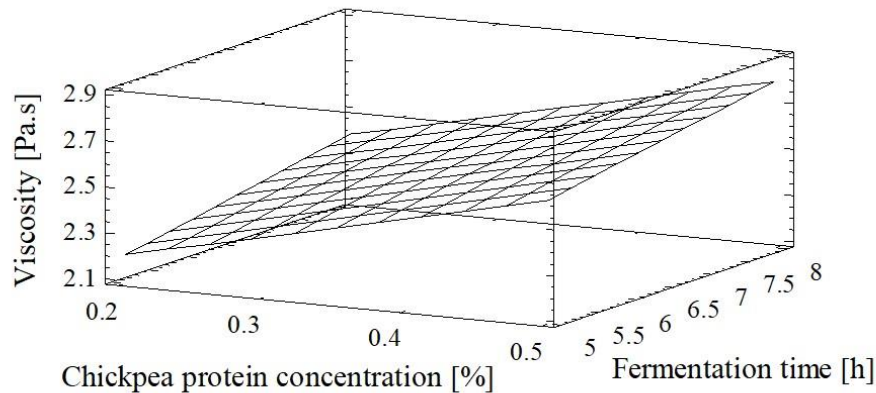


Figure 5. Response surface graph for the effect of chickpea protein concentration and fermentation time on the viscosity of low-fat yogurt.

Although both parameters showed statistically significant effects on viscosity with  $P=0.0022$  and  $P=0.0317$  for protein concentration and fermentation time, respectively, it can be observed that the factor that had a greater effect on the viscosity of the treatments was protein concentration. It is evident that as the protein concentration increases, viscosity also increases. Varedesara *et al.* (2021) reported that increasing the concentration of hydrolyzed grape seed protein in yogurts resulted in an increase in apparent viscosity, possibly due to an increase in dry matter and the binding of protein with free water.

### Yogurt sensory properties

Sensory properties are one of the main factors influencing the acceptability or rejection of many products. Four yogurt treatments were prepared for sensory evaluation. Figure 6 shows the behavior of the sensory factors evaluated. It can be observed that there was no statistically significant difference in overall acceptability among all treatments ( $P \geq 0.05$ ) with chickpea protein; however, it can be noted that there was a great difference in general acceptance between the controls and those yogurts added with chickpea protein, this difference, not only general acceptance but also the other sensory attributes between the controls and the treatments with chickpea protein is due to the chickpea flavor that the protein imparts to the yogurts. Despite that, among the yogurts that were added with chickpea protein, numerically, Y0.2CP5h had the highest value, followed by the Y0.5CP8h treatment. Regarding taste, all formulations had similar values: Y0.2CP5h (4.0), Y0.2CP8h (3.5), Y0.5CP5h (3.4), and Y0.5CP8h (3.8). The statistical analysis for this parameter reported that there was no statistically significant difference with a 95% confidence level. Mudgil *et al.* (2018), found that enhancement of yogurt texture is related to high values of sensory evaluation, for example, taste and overall acceptability.



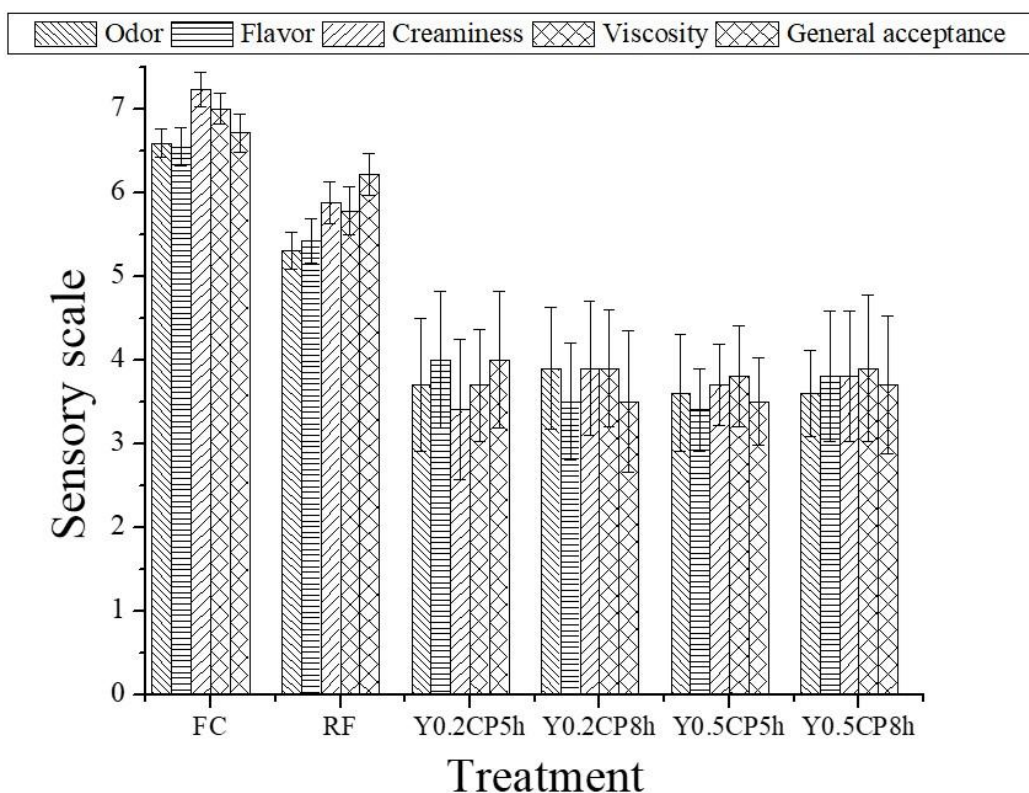


Figure 6. Sensory evaluation in the different treatments of yogurts.

## CONCLUSION

The results of this work demonstrated that the addition of chickpea protein to low fat yogurt affects its properties. Increasing the concentration of chickpea protein, the water holding capacity increase, this effect of the concentration also can see in the initial viscosity of the yogurts. On the other hand, the time fermentation affected the acidity and pH and had a good participation in affecting the other properties like viscosity and water holding capacity. The sensory properties of the yogurts demonstrated that the level of concentration of chickpea protein in the samples and time of fermentation no presented difference between them in the effect that have in the yogurts properties. Both factors had effect on the properties of the low-fat yogurt. Based on all the analyses conducted, it can be said that the best formulation was Y0.5CP8h, but it is necessary to investigate the addition of a higher percentage of protein to low-fat yogurts and evaluate its effect on its physicochemical and sensory properties. The use of chickpea protein in dairy products will be an alternative to produce fermented milk products like yogurt.

## REFERENCES

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed.; AOAC: Gaithersburg, MD, USA, 2005; ISBN 0-935584-77-3.

- Bessada, S. M. F., Barreira, J. C. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2019). Pulses and food security: dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends Food Science and Technology*, 93, 53-68.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Brückner-Gühmann, M., Benthin, A., & Drusch, S. (2019). Enrichment of yoghurt with oat protein fractions: Structure formation, textural properties and sensory evaluation. *Food Hydrocolloids*, 86, 146-153.
- Canon, F., Maillard, M. B., Famelart, M. H., Thierry, A., & Gagnaire, V. (2022). Mixed dairy and plant-based yogurt alternatives: Improving the physical and sensorial properties through formulation and lactic acid bacteria cocultures. *Current Research in Food Science*, 5, 665-676.
- Dabija, A., Codina, G., Anca, G., Sanduleac, E., & Lacramioara, R. (2018). Effects of some vegetable proteins addition on yogurt quality. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 19, 181-192.
- Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Trends for animals and plants. Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 119, 420-442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>
- de Vuyst, L., De Vin, F., Vaningelgem, F., & Degeest, B. (2001). Recent developments in the biosynthesis and applications of heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 11(9), 687-707.
- Duboc, P., & Mollet, B. (2001). Applications of exopolysaccharides in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 11(9), 759-768.
- Gao, C., Gao, Z., Greenway, F. L., Burton, J. H., Johnson, W. D., & Keenan, M. J. (2015). Oat consumption reduced intestinal fat deposition and improved health span in *Caenorhabditis elegans* model. *Nutrition Research*, 35, 834-843.
- Gehring, C. K., Gigliotti, J. C., Moritz, J. S., Tou, J. C., & Jaczynski, J. (2011). Functional and nutritional characteristics of proteins and lipids recovered by isoelectric processing of fish by-products and low-value fish: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 422-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.078>.
- Ghribi, A. M., Gafsi, I. M., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., & Besbes, S. (2015). Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 165, 179-188.
- Goldstein, N., & Reifen, R. (2022). The potential of legume-derived proteins in the food industry. *Grain and Oil Science and Technology*, 5, 167-178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaost.2022.06.002>.
- Jones, O. G., & McClements, D. J. (2011). Recent progress in biopolymer nanoparticle and microparticle formation by heat-treating electrostatic protein – polysaccharide complexes. *Advances in Colloid and Interface Science*, 167(1-2), 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.10.006>.

- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., & Mahapatra, A. (2021). Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendation. *Food Hydrocolloids*, 115, 106595. <https://doi.org/10.1016/J.foodhyd.2021.106595>.
- Ladjal-Ettoumi, Y., Boudries, H., Chibane, M., & Romero, A. (2016). Pea, chickpea and lentil protein isolates: Physicochemical characterization and emulsifying properties. *Food Biophysics*, 11(1), 43–51. <https://doi.org/10.1007/s11483-015-9411-6>.
- Lamarche, B. (2021). Dairy foods and the risk of type 2 diabetes: getting the fats straight. *American Journal of Clinical Nutrition*, 113, 495-496. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa376>.
- Levy, R., Okun, S., Davidovich-Pinhas, M., & Shpigelman, A. (2021). Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product. *Food Hydrocolloids*, 113, 1-12.
- Li, H., Zhang, L., Jia, Y., Yuan, Y., Li, H., Cui, W., & Yu, J. (2022). Application of whey protein emulsion gel microparticles as fat replacers in low-fat yogurt: applicability of vegetable oils as the oil phase. *Journal of Dairy Science*, 105, 9404-9416. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22314>.
- Liang, H. N., & Tang, C. H. (2013). pH-dependent emulsifying properties of pea [*Pisum sativum* (L.)] Proteins. *Food Hydrocolloids*, 33, 309–319.
- Madadlou, A., Flourey, J., & Dupont, D. (2018). Structural assessment and catalytic oxidation activity of hydrophobized whey proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (45), 12025–12033. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02362>.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (1999). *Sensory evaluation techniques* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Mesfin, N., Belay, A., & Amare, E. (2021). Effect of germination, roasting, and variety on physicochemical, techno-functional, and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein isolate powder. *Heliyon*, 7, 1-8.
- Moser, P., Nicoletti, V.R., Drusch, S., & Brückner-Gühmann, M. (2020). Functional properties of chickpea protein-pectin interfacial complex in buriti oil emulsion and spray dried microcapsules. *Food Hydrocolloids*, 107, 105929.
- Mudgil, P., Jumah, B., Ahmad, M., Hamed, F., & Maqsood, S. (2018). Rheological, micro-structural and sensorial properties of camel milk yogurt as influenced by gelatin. *LWT—Food Science and Technology*, 98, 646–653.
- Purwandary, U., Shah, N. P., & Vasišević, T. (2007). Effect of exopolysaccharide-producing strains of *Streptococcus thermophilus* on technological and rheological properties of set type yogurts. *International Dairy Journals*, 17(11), 1344-1352.
- Ribes, S., Peña, N., Fuentes, A., Talens, P., & Barat, J. M. (2020). Chía (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage as a fat replacer in yogurts: effect on their nutritional, technological and sensory properties. *Journal of Dairy Science*, 104, 2822-2833. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19240>.
- Santiago-García, P. A., Mellado-Mojica, E., León-Martínez, F. M., Dzul-Cauich, J. G., López, M. G., & García-Vieyra, M. I. (2021). Fructans (agavins) from *Agave angustifolia* and *Agave potatorum* as fat replacement in yogurt: Effects on physicochemical, rheological, and sensory

- properties. *LWT-Food Science and Technology*, 140, 110846. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110846>.
- Shevkani, K., Singh, N., Chen, Y., Kaur, A., & Yu, L. (2019). Pulse proteins: secondary structure, functionality and applications. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2787-2798.
- Sofi, S. A., Singh, J., Chhikara, N., & Panghal, A. (2020). Effect of incorporation of germinated flour and protein isolate from chickpea on different quality characteristics of rice-based noodle. *Cereal Chemistry*, 97(1), 85–94.
- Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. (2007). Industrial yogurt manufacture: Monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal Dairy Science*, 90, 2641-2654.
- Varedesara, M. S., Ariaii, P., & Hesari, J. (2021). The effect of grape seed protein hydrolysate on the properties of stirred yogurt and viability of *Lactobacillus casei* in it. *Food Science and Nutrition*, 9, 2180-2190.
- Venkidasamy, B., Selvaraj, D., Nile, A. S., Ramalingam, S., Kai, G., & Nile, S. H. (2019). Indian pulses: a review on nutritional, functional and biochemical properties with future perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 228-242.
- Zhao, L., Feng, R., Ren, F., & Mao, X. (2018). Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profile of low-fat yogurt. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 98, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.029>.