

## Tecnologías Emergentes para la Industria Alimentaria

*Ultrasonido y sus aplicaciones en la cadena alimentaria*

*Avances y aplicaciones de las tecnologías no térmicas en el procesamiento de alimentos*

*Opinión:*

**Dra. María Janeth Rodríguez Roque**

**Dra. Nantawan Therdthai &**

**Dr. Seid M. Jafari**



*Análisis bibliográfico:*

**Emerging thermal and non-thermal processes in the Food Industry: Edited book by Prof. Seid M. Jafari.**

### Artículos Científicos con Arbitraje

Exploración de extractos acuosos de semillas y derivados para la producción de Brushita esférica

Study of the nozzle angle for milk particle formation

Aplicación de pulsos ultrasónicos para la extracción de pigmentos a partir de subproductos del erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*)

Aprovechamiento agroecológico y alimentario del mezquite: una revisión

## Directorio

Mtro. Ramón Jiménez López  
*Director General*  
*Tecnológico Nacional de México*

Ing. Raúl René Robles Lacayo  
*Director*  
*TecNM/I. T. Roque*

Mtro. Fernando Germán Flores Guillén  
*Subdirector Académico*  
*TecNM/I. T. Roque*

Mtro. Alejandro Guerrero Barrón  
*Subdirector de Planeación y Vinculación*  
*TecNM/I. T. Roque*

M. C. Violeta Herrera Enciso  
*Jefa del Departamento de Ingenierías*  
*TecNM/I. T. Roque*

## EDITORES

*Formadores:*

**Editor General**

Dr. Christian Oliver Díaz Ovalle

**Editor Ejecutivo**

Dr. Ahuiztolt de Jesús Joaquín Ramos

Tecnológico Nacional de México/I.T. de Roque,  
km. 8.0 carretera Celaya-Juventino Rosas, C.P.  
38124, Celaya, Guanajuato, México.

## COMITÉ EDITORIAL

**Química de Alimentos**

Dr. José Alberto Gallegos Infante  
TecNM/I.T. Durango, Durango, México

**Bioprocesos y Biotecnología de Alimentos**

Dr. José Ángel Huerta Ocampo  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,  
A. C., Hermosillo, Sonora, México

**Postcosecha y Tecnología Agroalimentaria**

Dra. María Janeth Rodríguez Roque  
Universidad Autónoma de Chihuahua,  
Chihuahua, México

**Seguridad e Inocuidad Alimentaria**

Dra. Montserrat Hernández Iturriaga  
Universidad Autónoma de Querétaro,  
Querétaro, México

**Revista de Ingeniería en Industrias Alimentarias**, Año 1, número 2-A, Julio—Diciembre 2024 es una publicación semestral editada por el Tecnológico Nacional de México Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 033305, teléfono 5536002511 Ext. 65092, [www.tecnm.mx](http://www.tecnm.mx), correo [d\\_vinculación05@tecnm.mx](mailto:d_vinculación05@tecnm.mx), Editor Responsable Dr. Christian Oliver Díaz Ovalle. Reserva de derechos al uso exclusivo No. **04-2023-122017411500-102**, ISSN: **en trámite**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Comunicación y Difusión, Ing. Christian Ulises Hernández Montoya, Instituto Tecnológico de Roque, Km. 8.0 carretera Celaya-Juventino Rosas, C.P. 38124, Celaya, Guanajuato, México, tel. +52-4616116361 Ext. 116. Fecha de última actualización 10 de Diciembre de 2024.

El objetivo de la Revista de Ingeniería en Industrias Alimentarias es generar un espacio para la difusión de conocimiento científico, tendencias y novedades en la tecnología y ciencia de los alimentos, el aprendizaje y difusión en los avances de la industria alimentaria.

La revista acepta, para publicación en español e inglés, artículos de: divulgación, difusión, avance técnico-científico, revisión, educación y opinión de expertos. Estos son sometidos a revisión editorial y de lenguaje. Se aplicará arbitraje por pares a los artículos científicos y artículos de revisión, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación. Se autoriza la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación con crédito de la fuente.

# EDITORIAL

Food Science has contributed to technical advances in producing highly nutritive foods under sophisticated and novelty processes. Such techniques explore the thermal effects on foodstuff without applying a conventional heating medium in order to avoid product damage. The fundamentals of these techniques classify them as: a) emerging thermal, and b) non-thermal. The first ones consider the manipulation of radiative heat transfer conditions and electromagnetic fields, and the second ones involve modified systems in electric fields, pressure, and other treatments such as ozonation. The rise of these techniques has pushed the research of the elements to perform them in the food industry, which nowadays is not accomplished at all. Therefore, these novel techniques are treated in this issue to provide a global perspective in their advance.

The Journal highly appreciates the technical and writing support by the authors, the reviewers, and the editorial board, and the financial support by Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Roque in particular to the “Departamento de Ingenierías (Engineering Department)”. This Journal provides the new trends in food engineering worldwide with novel articles under peer review, such as this issue demonstrates.

Christian Oliver Díaz Ovalle  
Ahuitzolt de Jesús Joaquín Ramos  
**Editors**



## Las tecnologías emergentes en la obtención de alimentos inocuos

*María Janeth Rodríguez Roque*

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, México

Las tecnologías emergentes son aquellos procesos no térmicos en los cuales se obtienen alimentos y bebidas nutritivos, seguros e inocuos, al reducir su carga microbiana y ampliar su vida útil. Éstos aseguran la inocuidad de los alimentos a través de diferentes efectos que provocan sobre los microorganismos alterantes y patógenos, tales como la reducción del tamaño celular, electroporación, daño a la pared celular, lisis celular, desnaturalización de proteínas y del ADN.

Entre las principales tecnologías emergentes se encuentran las altas presiones hidrostáticas, pulsos eléctricos, plasma frío, ozono, irradiación y ultrasonido. Ofrecen varias ventajas sobre los tratamientos térmicos, como son la obtención de alimentos con mayor calidad nutricional (porque no degradan compuestos termosensibles) y organoléptica (con características sensoriales similares a los productos frescos en cuanto a color, sabor y aroma). Además, son tecnologías eficientes y rentables que se siguen explorando en todo el mundo para determinar su aplicación en la industria agroalimentaria.

## Opinion on Emerging Thermal and Non-Thermal Processes

*Nantawan Therdthai* (1)

*Seid M. Jafari* (2,3)

(1) Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

(2) Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(3) Halal Research Center of IRI, Iran Food and Drug Administration, Ministry of Health and Medical Education, Tehran, Iran.

Emerging thermal and non-thermal processes have been developed to enhance the effectiveness of food processing and improve product quality. Among the emerging thermal processes, microwave, infrared, and Ohmic heating have demonstrated rapid heating rates and short processing times, which help retain nutritional values in foods. Although both Ohmic heating and microwaves show potential for pasteurization and sterilization, concerns about heating uniformity and cold spot detection limits the use of microwaves for industrial sterilization. Regarding non-thermal processes, they are gaining attention for improving sensory and nutritional qualities, which can create a sense of freshness for customers, as these processes are

often considered "invisible." Conventional thermal pasteurization can be replaced by pulse electric fields (PEF), high pressure processing (HPP), ultrasonication, cold plasma (CP), ozone, and irradiation due to their effectiveness in microbiological inhibition. However, only irradiation has been successfully implemented on an industrial scale for sterilization; the others still face challenges in achieving sufficient lethality against microorganisms in spore form. PEF and ultrasonication have shown success in structural modification to enhance the extraction of bioactive compounds.

Overall, these emerging processes demonstrate strong performance in terms of safety, quality, efficiency, and environmental friendliness. However, their implementation in the food industry remains challenging due to complexities in process design and control for both batch and continuous operations to ensure economic viability and feasibility. Additionally, industrial operators need education on these emerging thermal and non-thermal processes to ensure safety in production and products.

### RESEÑA DE AUTORES:

**Dra. María Janeth Rodríguez Roque** es profesora-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), nivel II. Mentora en la Ciencia para el British Council. Líder del cuerpo académico UACH-CA-145 Poscosecha y Tecnología Agroalimentaria.

**Dr. Nantawan Therdthai** received her Ph.D. in Food Science and Technology from the University of Western Sydney (Australia). She is currently a department head at the Department of Product Development, Kasetsart University (Thailand). She has published over 30 papers in international journals

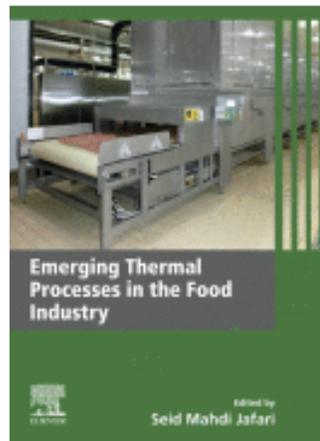
and 13 book chapters. She is considered as one of the top national researchers in the area of Food Science and Technology.

**Dr. Prof. Seid M. Jafari** received his Ph.D. in Food Process Engineering from the University of Queensland (Australia), in 2006. Now, he is a full-time Prof. of GUASNR (Iran), part-time Prof. in UVigo (Spain), adjunct Prof. in SINANO (China), and adjunct Prof. in Hebei Agricultural University (China). He has published (>) 400 papers in International Journals (h-index=97 in Scopus) and 129 book chapters/60 books with Elsevier, Springer, and Taylor & Francis.

# Emerging thermal and non-thermal processes in the Food Industry: Edited by Prof. Seid M. Jafari

The foodstuff damage characterizes the thermal processes and yields a loss of nutritive quality and consumption acceptability. In the last decades, food engineering has provided techniques to avoid thermal foodstuff damage. The novel treatment techniques are classified as: a) emerging thermal processes: infrared, radio frequency, microwave, and ohmic heating, and b) non-thermal processes: pulsed electric fields, ozonation, irradiation, sonication, ultraviolet treatment, plasma processing, and high-pressure processing. However, for the last few years, the novelty of the topics has limited the consulting sources for technicians, students, and academy staff. Nowadays, the high rate of publications has justified

the existence of some outstanding sources, such as: Cullen et al. (2016), Chauhan (2019), Selvamuthukumar and Maqsood (2021), and Chakraborty and Dhar (2022). Although these sources provide fundamentals and trends, a new reference would enhance the state-of-the-art for looking at the steering of solving industrial and research problems. The Series *Unit Operations and Processing Equipment in the Food Industry*, published by Woodhead Publishing® (Elsevier®), is a recently edited work by Prof. Seid Jafari from Gorgan University, Iran, and independently covers both topics.



The volume of *Non-thermal food processing operations* relates to methods to preserve food without applying heat, and the transformation of quality attributes and maintenance of bioactive compounds. Therefore, the industry establishment of these processes has required acceptance and the expectation of further research. Each chapter describes the non-thermal operation from basics, literature review, technical and engineering conceptualization, applications, limitations, and food changes. The authors' experience motivates the reader aboard research developments and engineering designs. Thus, this volume correctly steers the knowledge from the non-expert reader to the research level.

On the other hand, the volume of *Emerging thermal processes in the food industry* focuses on unconventional heating technologies (all do not apply conventional heating mediums such as motive steam under convective and conductive heat transfer principles). Thus, radiative heat transfer and the induced electromagnetic fields are the mechanisms of such principles. The volume indicates the application of the technologies in operative operations (pasteurization, bakery, frying, drying, blanching, etc.) and describes their advantages (short heating time, high thermal efficiency, and preserving product quality) in correspondence with the benefit of environmental-energy-cost relations. The book contains the fundamentals and the processing equipment for the industry. Both points will increase the interest of both academic and industrial engineers. Therefore, the research on such technologies will be prompt to be increased.

Finally, I want to appreciate to Prof. Dr. Jafari and Dr. Therdthai for accepting to submit an opinion about these topics in this Journal. We feel honored by the support of both distinguished invited for this issue.

### References

- Chakraborty, S., & Dhar, R. (2022). *Fundamentals of non-thermal processes for food preservation*. CRC Press.
- Chauhan, O.P. (2019). *Non-thermal processing of foods*. CRC Press.
- Cullen, P.J., Tiwari, B.K., & Valdramidis, V.P. (2016). *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods*. Academic Press.  
DOI: 10.1016/B978-0-12-381470-8.00020-7.
- Jafari, S.M. (2022). *Emerging thermal processes in the food industry*. Elsevier-Woodhead Publishing.  
DOI: 10.1016/C2018-0-04540-5.
- Jafari, S.M., & Therdthai, N. (2022). *Non-thermal food processing operations*. Elsevier-Woodhead Publishing.  
DOI: 10.1016/C2018-0-04544-2.
- Selvamuthukumar, M., & Maqsood, S. (2021). *Non-thermal processing technologies for the dairy industry*. Taylor & Francis Group.

Christian O. Díaz-Ovalle, Editor

# CONTENIDO

## Sección de Divulgación

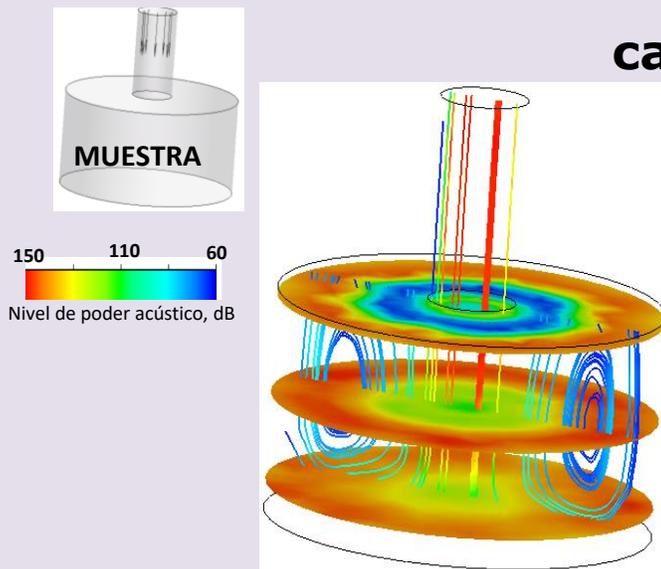
- Ultrasonido y sus aplicaciones en la cadena alimentaria**  
Rita María Velázquez Estrada  
ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN **1**
- Avances y aplicaciones de las tecnologías no térmicas en el procesamiento de alimentos**  
Rogelio Sánchez-Vega  
ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN **6**
- Liquor production from by-products of mango processing (Mangifera indica L. Haden)**  
Isabel Fernanda Mireles-Luna and Ahuitzolt de Jesús Joaquín Ramos  
ARTÍCULO TECNOLÓGICO **10**

## Sección de Arbitraje

- Exploración de extractos acuosos de semillas y derivados para la producción de Brushita esférica**  
José Antonio Martínez Carreón e Iván Jalil Antón Carreño Márquez  
ARTÍCULO CIENTÍFICO **16**
- Study of the nozzle angle in a coaxial flow for milk drop formation**  
María José Ramírez-Rivera and Christian O. Díaz-Ovalle  
ARTÍCULO CIENTÍFICO **24**
- Aplicación de pulsos ultrasónicos para la extracción de pigmentos a partir de subproductos del erizo púrpura (Strongylocentrotus purpuratus)**  
Francisco Cadena-Cadena y Joe Luis Arias-Moscoco  
ARTÍCULO CIENTÍFICO **31**
- Aprovechamiento agroecológico y alimentario del mezquite: una revisión**  
Angelica Espinosa-Plascencia y José Ángel Huerta-Ocampo  
ARTÍCULO DE REVISIÓN **36**

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

# Ultrasonido y sus aplicaciones en la cadena alimentaria



\*Cortesía de TecNM/I. T. Roque

Rita María Velázquez Estrada  
Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico de Tepic

## RESUMEN

En los últimos 10 años, la tecnología de ultrasonido ha ido evolucionando de tal manera que ahora está presente en múltiples procesos y concede grandes ventajas. En la cadena alimentaria, el ultrasonido tiene múltiples aplicaciones que van desde la producción primaria hasta la obtención de un producto o ingrediente. Para esto la tecnología de ultrasonido puede combinarse con parámetros como la temperatura y presión.

La cadena alimentaria a través de los años ha experimentado cambios importantes en correspondencia a las necesidades y expectativas de la población. Con los avances en las tecnologías de la información y comunicación, los consumidores

ahora tienen acceso a mayor información sobre la alimentación y el bienestar que esta les otorga. Por lo que, buscan para su despensa productos inocuos, y que no sólo aporten energía y nutrientes, sino también funcionalidad para la prevención de enfermedades; asimismo, que estos productos estén libres de sellos, con atributos sensoriales, y con características eco-amigables. Además, existen mercados donde los productos deben cumplir con

ciertas especificaciones, por ejemplo: los productos libres de gluten, altos en fibra, bajos en calorías, hipoalergénicos, entre otros. Aunque los procesos convencionales aplicados en la cadena alimentaria son eficientes y útiles, estos tienen limitaciones para alcanzar los criterios que se solicitan actualmente. Es por ello, que las denominadas tecnologías emergentes surgen como una alternativa y/o como complemento a las tecnologías tradicionales.

El ultrasonido de alta intensidad es una tecnología que se basa en el paso de ondas que crean regiones de alta y baja presión, estos cambios de presión generan microburbujas en el sistema que acaban implosionando en un proceso denominado cavitación (Fu et al., 2020). La cavitación impacta tanto en la inactivación de enzimas como de microorganismos no deseables en los alimentos. Adicionalmente, facilita la extracción de compuestos de interés en diversas matrices, y también puede provocar cambios estructurales de los componentes de los alimentos, lo cual modifica sus propiedades tecnológicas.

En la cadena alimentaria, el ultrasonido tiene múltiples aplicaciones que van desde la producción primaria hasta la obtención de un producto o

ingrediente. Para esto la tecnología de ultrasonido puede combinarse con parámetros como la temperatura y presión. En el caso de la termosonificación se emplea el ultrasonido combinado con temperaturas moderadas (50 a 70°C) (Manzoor et al., 2021). Por otro lado, la mano-termosonificación, combina ultrasonido, temperatura y presión. Otras formas de aplicación del ultrasonido es la nebulización ultrasónica, en la cual se generan neblinas finas del agente nebulizado con el fin de desinfectar superficies. Conjuntamente, el ultrasonido puede asistir a otras tecnologías como la filtración y la microfluidización dinámica de alta presión, entre otras.

En el campo agrícola, específicamente en las prácticas postcosecha, el ultrasonido es útil para la limpieza y desinfección de las superficies de los productos frescos, ya que se puede incluir la adición de agentes de desinfección (hipoclorito de sodio, ácido acético, bicarbonato de sodio, entre otros) o también de agentes de control de patógenos (quitosano, aceites esenciales, entre otros) (de São et al., 2014). También, el empleo de la nebulización ultrasónica es de gran utilidad para la desinfección de superficies de contacto con los productos o



desinfección de los mismos. Además, las ventajas de la nebulización ultrasónica son el volumen requerido de los agentes y el ahorro que conlleva, ya que la formación de la niebla requiere de poca cantidad, y esta niebla al estar conformada por gotas micrométricas puede alcanzar cualquier espacio de la superficie a desinfectar (Vardar et al., 2012; Perkins et al., 2017).

Respecto al procesamiento de los alimentos, el ultrasonido y la termosonicación han sido estudiados como tratamientos alternativos a la pasteurización térmica en una amplia gama de jugos y néctares de frutas (Anaya et al., 2017). El uso combinado del ultrasonido con temperatura radica en que el ultrasonido, por sí sólo, no logra inactivar los microorganismos más resistentes, y en materia de inocuidad alimentaria la Agencia de control de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (Food and Drug Administration FDA, por sus siglas en inglés) demanda la reducción de 5 Log UFC/mL de bacterias patógenas indicadoras (*Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes*) (Demir & Kılınç 2019). Por lo anterior, la termosonicación presenta una opción en la que el ultrasonido puede lograr este requerimiento de la FDA. Así mismo, la termosonicación potencia la capacidad antioxidante en las bebidas tratadas al facilitar la extractabilidad de compuestos antioxidantes (Sotelo-Lara et al., 2023). En las bebidas vegetales procedentes de fuentes como la soya, el arroz, las almendras, los cacahuates o la avena, el ultrasonido, así como la termosonicación, han favorecido propiedades como la viscosidad, color y tamaño de partícula, ya que homogeneizan y emulsionan el alimento, otorgando así una mejor estabilidad sin la incorporación de aditivos (Manzoor et al., 2021; Atalar et al., 2019). Esto último, presenta una gran ventaja para que los productos novedosos cuenten con una etiqueta limpia.

En relación con la mano-termsonicación, esta combinación crea diferentes barreras que son efectivas para la inactivación de microorganismos. No obstante, la presión es un parámetro a considerar, porque esta puede evitar que se produzca la cavitación. Aparte, el sobreexponer un alimento a múltiples parámetros puede ocasionar una pérdida de su calidad (Condón et al., 2011). Por otro lado, en la filtración asistida con ultrasonido, se puede evitar la colmatación de las membranas facilitando este proceso en matrices pulposas de los

frutos (Hemmati et al., 2021). Y en el caso de microfluidización dinámica de alta presión asistida por ultrasonidos la hidrofobicidad de la superficie, el potencial zeta y tamaño de las partículas es mejorado (Huang et al., 2023).

El ultrasonido ha sido fundamental en procesos de extracción de compuestos de interés que pueden ser usados posteriormente como ingredientes en la industria de alimentos, o para ser encapsulados y liberados gradualmente beneficiando según sea la funcionalidad que presente (Kumar et al., 2021). También, puede asistir reacciones enzimáticas para potenciar la actividad de las enzimas facilitando la obtención de péptidos bioactivos (Kadam et al., 2015). La aplicación del ultrasonido facilita la ruptura de enlaces en proteínas, carbohidratos y demás componentes de los alimentos favoreciendo o no diferentes propiedades tecno-funcionales. En alimentos alergénicos, la modificación de las estructuras proteicas alérgicas por medio del ultrasonido puede lograr la reducción de la alergenicidad (Balunkeśwar et al., 2017). Asimismo, se ha observado que, dependiendo de la potencia aplicada, el ultrasonido podría ser capaz de degradar micotoxinas con carácter carcinógeno (Moosavi et al., 2021).

En los últimos 10 años, la tecnología de ultrasonido ha ido evolucionando de tal manera que ahora está presente en múltiples procesos y concede grandes ventajas como las mencionadas anteriormente. No obstante, los estudios continúan para evaluar si puede aplicarse a más áreas como en la fermentación o en el desarrollo de bebidas funcionales para hacer más biodisponibles los compuestos de los alimentos. La promesa de esta tecnología también recae en que se encuentra en las tecnologías denominadas verdes por su ahorro energético, y por evitar el uso de solventes para las extracciones y en consecuencia ser eco-amigable. Finalmente, el reto para esta tecnología es su escalamiento a nivel industrial con la adecuación de equipos respecto a la aplicación y objetivo que la industria pretenda alcanzar.

#### Referencias:

Anaya-Esparza, L.M., Velázquez-Estrada, R.M., Roig, A.X., García-Galindo, H.S., Sayago-Ayerdi, S.G., & Montalvo-González, E. (2017). Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. *Trends in Food*

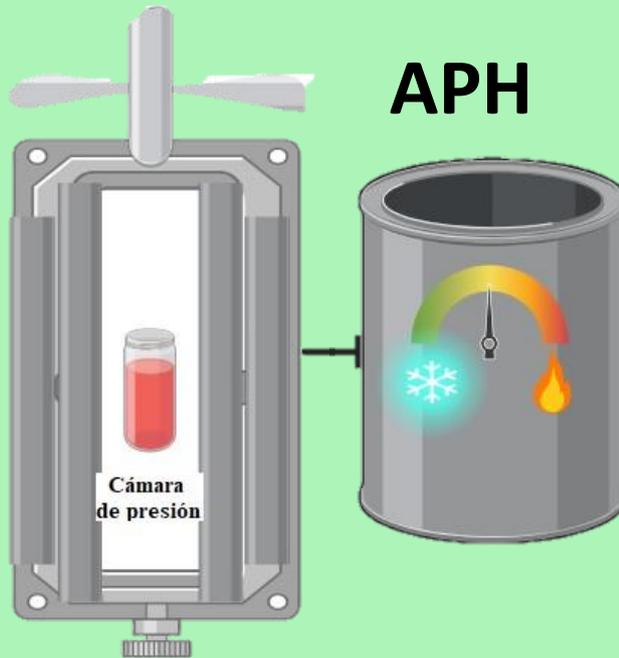
- Science and Technology, Vol. 61, pp. 26–37. Elsevier Ltd.  
DOI: 10.1016/j.tifs.2016.11.020
- Atalar, I., Gul, O., Saricaoglu, F.T., Besir, A., Gul, L. B., & Yazici, F. (2019). Influence of thermosonication (TS) process on the quality parameters of high pressure homogenized hazelnut milk from hazelnut oil by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (3), 1405–1415.  
DOI: 10.1007/s13197-019-03619-7
- Balunkeswar N., Zhenxing, L., Ishfaq, A., & Hong, L. (2017). Chapter 11 - Removal of Allergens in Some Food Products Using Ultrasound. *Ultrasound: Advances for Food Processing and Preservation*, Academic Press, Pages 267-292.
- Condón, S., Mañas, P., & Cebrián, G. (2011). Manothermosonication for microbial inactivation. *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, 287-319.
- de São José, J.F.B., de Andrade, N.J., Ramos, A. M., Vanetti, M.C.D., Stringheta, P. C., & Chaves, J. B. P. (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food control*, 45, 36-50.
- Demir H, Kiliç A (2019) Effect of batch and continuous thermosonication on the microbial and physicochemical quality of pumpkin juice. *Journal of Food Science and Technology* 56(11), 5036–5045.  
DOI: 10.1007/s13197-019-03976-3
- Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., & Luo, Z. (2020). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104726.  
DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104726
- Hemmati, A., Mirsaeedghazi, H., & Aboonajmi, M. (2021). The effect of ultrasound treatment on the efficiency of membrane clarification of carrot juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e15001.
- Huang, J., Chen, X., Su, D., Chen, L., Chen, C., & Jin, B. (2023). Molecular mechanisms affecting the stability of high internal phase emulsions of zein-soy isoflavone complexes fabricated with ultrasound-assisted dynamic high-pressure microfluidization. *Food Research International*, 170, 113051.
- Kadam, S.U., Tiwari, B.K., Álvarez, C., & O'Donnell, C. P. (2015). Ultrasound applications for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 60-67.
- Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V.S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105325.
- Manzoor, M.F., Xu, B., Khan, S., Shukat, R., Ahmad, N., et al. (2021). Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105740.  
DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105740
- Manzoor, M.F., Siddique, R., Hussain, A., Ahmad, N., Rehman, A., et al. (2021). Thermosonication effect on bioactive compounds, enzymes activity, particle size, microbial load, and sensory properties of almond (*Prunus dulcis*) milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105705.  
DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105705
- Moosavi, M. H., Khaneghah, A.M., Javanmardi, F., Hadidi, M., Hadian, Z., et al. (2021). A review of recent advances in the decontamination of mycotoxin and inactivation of fungi by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, 105755.
- Sotelo-Lara, D.M., Amador-Espejo, G.G., Zamora-Gasga, V.M., Gutiérrez-Martínez, P., & Velázquez-Estrada, R.M. (2023). Effect of thermosonication on bioactive compounds, enzymatic and microbiological inactivation in nectar with strawberry by-products. *Journal of Food Science and Technology*. 60(5), 1580-1589.  
DOI: 10.1007/s13197-023-05700-8
- Vardar, C., İlhan, K., & Karabulut, O.A. (2012). The application of various disinfectants by fogging for decreasing postharvest diseases of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 66, 30–34.  
DOI: 10.1016/j.postharvbio.2011.11.008
- Perkins, M. L., Yuan, Y., & Joyce, D.C. (2017). Ultrasonic fog application of organic acids delays postharvest decay in red bayberry.

Postharvest Biology and Technology, 133, DOI: 10.1016/j.postharvbio.2017.06.009  
41–47.

#### RESEÑA DE LA AUTORA

Química en Alimentos por la Universidad Autónoma de Querétaro, con maestría y doctorado en Ciencias en Alimentos por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesora de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (Nivel I), con Perfil Deseable PRODEP, perteneciente al grupo de investigación “Tecnologías Alternativas y Emergentes en Alimentos”. Área de investigación en tecnologías emergentes para el procesamiento, conservación, y transformación de alimentos.

# Avances y aplicaciones de las tecnologías no térmicas en el procesamiento de alimentos



Rogelio Sánchez-Vega  
Universidad Autónoma de  
Chihuahua

## RESUMEN

Los tratamientos térmicos, como la pasteurización, son los más comunes para procesar y conservar alimentos, debido a su eficiencia en la inactivación enzimática y eliminación microbiana. Sin embargo, el calor afecta las propiedades nutricionales y sensoriales (sabor, color y textura) de los alimentos. Las tecnologías de procesamiento no térmico, como las altas presiones hidrostáticas, pulsos eléctricos y ultrasonido han demostrado reducir la pérdida de nutrientes y eliminar microorganismos.

## Altas presiones hidrostáticas (APH)

El término "hidrostático" hace referencia al equilibrio que ocurre en los fluidos que son sometidos a la acción de una presión. Cuando se aplica una fuerza o una presión a un líquido, como el agua, esta tiene la capacidad de transportar la fuerza de forma homogénea hacia el alimento (Martínez-Monteagudo & Balasubramaniam,

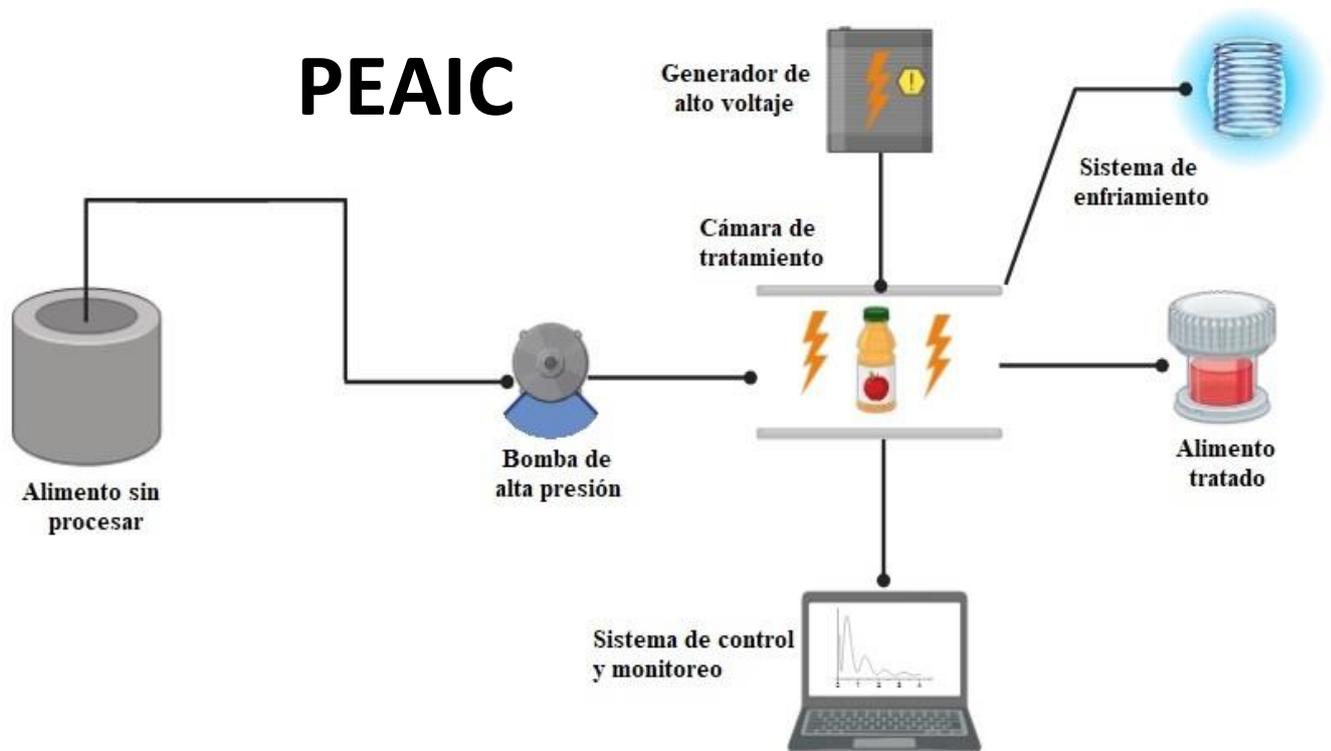
2016). Esta presurización, que se transmite de forma isostática, provoca una reducción de volumen, que obedece al principio de Le Chatelier (Braspaiboon & Laokuldilok, 2024).

Las APH afectan la integridad de las moléculas al alterar la distancia de las interacciones, tales como las fuerzas de van der Waals, fuerzas electrostáticas, interacciones hidrofóbicas y puentes de hidrógeno, lo cual modifica el

balance entre las fuerzas de atracción y repulsión. Por el contrario, los enlaces covalentes no son afectados por las APH (Martínez-Monteagudo & Balasubramaniam, 2016).

En el caso de los microorganismos, las APH ocasionan alteraciones estructurales durante la presurización, sin incrementos importantes de la temperatura. Esto garantiza la seguridad y calidad de los alimentos, conservando su color, sabor y apariencia fresca, ya que no afectan de forma significativa a los compuestos responsables del sabor, ni a los nutrientes presentes en los alimentos; pero si es eficaz en la eliminación de bacterias, hongos y esporas; así como en la inactivación de enzimas (Dangal et al., 2024).

El procesamiento por APH, comúnmente se lleva a cabo entre 300 y 600MPa. El sistema de APH consiste de una cámara de presión, un generador de presión, y un sistema de cerramiento y de medición de la temperatura (Dangal et al., 2024). En la actualidad, las APH se aplican a una gran variedad de productos alimenticios, que van desde sólidos (embutidos, mariscos), líquidos (leche, jugos, purés), con un alto contenido de grasa o carbohidratos (guacamole, tubérculos, mermeladas), entre otros. La única condición, es que estos productos deben estar envasados al vacío y en empaques que resistan las APH.



## Pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEAIC)

En general, se distinguen dos tipos de tratamiento aplicando pulsos eléctricos: de baja (aplicados a alimentos sólidos), y alta intensidad (aplicados a alimentos líquidos). Esta revisión se enfocará en los pulsos de alta intensidad de campo (PEAIC).

Un pulso eléctrico consiste en una ráfaga de energía eléctrica de alto voltaje (10-50 kV/cm), durante corto tiempo, del orden de micro-segundos (<10  $\mu$ s),

aplicada a alimentos líquidos cuando estos pasan a través de dos electrodos (Ho & Mittal, 2000). Los PEAIC se desarrollan a temperaturas bajas o moderadas, sin cambios significativos en la calidad nutricional y sensorial de los alimentos (Barsotti et al., 1999; Góngora-Nieto et al., 2002).

Los componentes principales de un sistema PEAIC son: generador de corriente eléctrica, interruptores, sistema de enfriamiento, y cámaras de tratamiento (Barsotti et al., 1999). Los parámetros que influyen en la eliminación de bacterias e inactivación de enzimas son: intensidad de campo eléctrico, tiempo

de tratamiento, anchura de pulso, forma del pulso, que puede ser cuadrado o de caída exponencial, y polaridad (mono- o bipolar) (Ho & Mittal, 2000).

La reducción de la carga microbiana ocurre cuando el campo eléctrico es lo suficientemente fuerte para ocasionar cambios estructurales en la membrana, aumenta su permeabilidad y como consecuencia hay formación de poros (electroporación), lo que ocasiona un daño irreversible de la membrana celular, y como consecuencia, la muerte del microorganismo (Ho & Mittal, 2000).

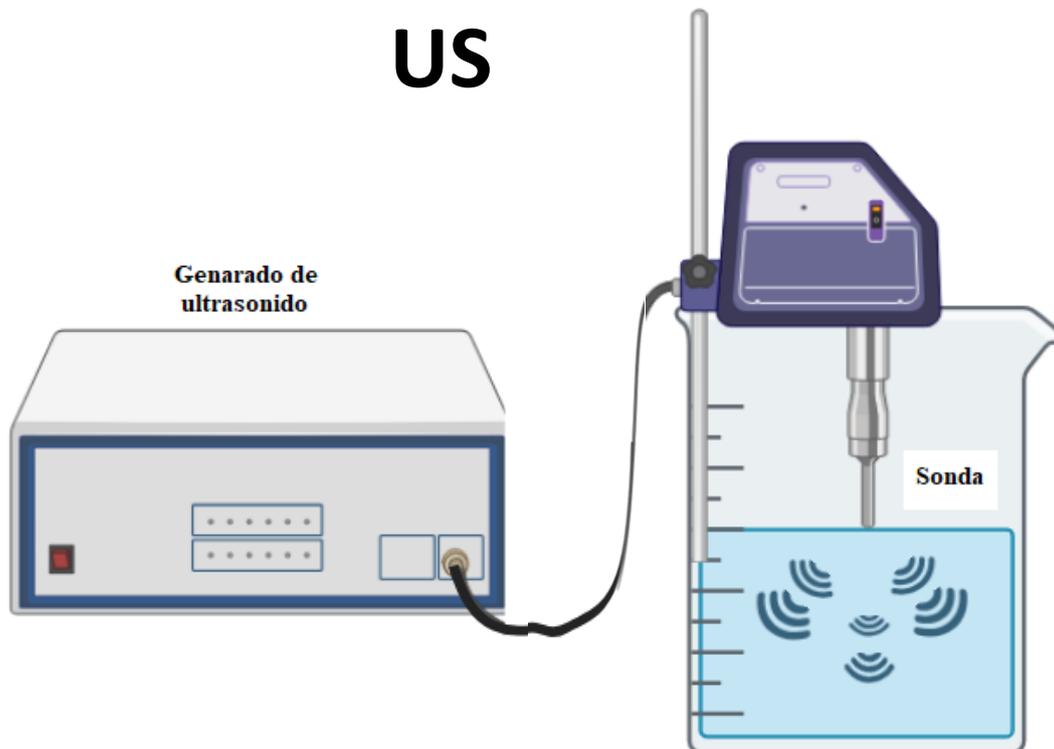
La reducción de la carga microbiana ocurre cuando el campo eléctrico es lo suficientemente fuerte para ocasionar cambios estructurales en la membrana, aumenta su permeabilidad, como consecuencia hay formación de poros que ocasionan un daño irreversible de la membrana celular.

## Ultrasonido (US)

El procesamiento por ultrasonido (US) se basa en el uso de ondas acústicas con frecuencias superiores al umbral auditivo humano. Estas ondas se propagan a través de un material, el cual generalmente es un medio líquido (Beitia et al., 2022).

El US tiene un rango de frecuencia entre 20 Hz y 1 GHz, rango que está por encima del umbral de audición humana. En función de la intensidad y frecuencia de las ondas, se distinguen dos tipos de US aplicados en alimentos: de alta frecuencia y baja frecuencia. El US de alta intensidad utiliza intensidades de US  $>3$  W/cm<sup>2</sup>, y los de baja intensidad  $<3$  W/cm<sup>2</sup>. Así mismo, se pueden clasificar en US de baja frecuencia y alta potencia (20–100 kHz); de frecuencia media y potencia media (100 kHz–1 MHz); y alta frecuencia y baja potencia (1–100 MHz). El US de baja intensidad es una técnica no destructiva; mientras que el US de alta intensidad, modifica las propiedades físicas y químicas de los alimentos, daña las estructuras celulares, y por ello también elimina microorganismos (Chávez-Martínez et al., 2020).

El US combinado con calor se denominan termosonicación, pero si también se añade presión, entonces se conocen como manotermosonicación, y se pueden aplicar de forma directa o indirecta. El modo directo es aproximadamente 100 veces más potente que el indirecto, ya que la energía fluye



desde el transductor a la muestra. Sin embargo, la aplicación directa tiene mayor riesgo de contaminación, ya que la sonda se sumerge directamente en el líquido, mientras que la técnica indirecta se realiza en baños (Chávez-Martínez et al., 2020).

## Nuevas tendencias en el procesamiento no térmico de los alimentos

Como parte de la economía circular, se ha reconocido la importancia del reciclaje y revalorización de residuos agroindustriales, los cuales son una fuente importante de polifenoles, pigmentos, pectina, fibra, entre otros. Tecnologías como APH y US tienen la ventaja de no requerir el uso de solventes, reduce costos y no incrementan la temperatura de extracción, por lo que mejora, o no afecta la calidad de los extractos.

### Referencias:

- Barsotti, L., Merle, P., & Cheftel, J. C. (1999). Food processing by pulsed electric fields. I. Physical aspects. *Food Reviews International*, 15(2), 163-180.
- Beitia, E., Gkogka, E., Chanos, P., Hertel, C., Heinz, V., et al. (2023). Microbial decontamination assisted by ultrasound-based processing technologies in food and model systems: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(4), 2802-2849.
- Braspai boon, S., & Laokuldilok, T. (2024). High Hydrostatic Pressure: Influences on Allergenicity, Bioactivities, and Structural and Functional Properties of Proteins from Diverse Food Sources. *Foods*, 13(6), 922.
- Chávez-Martínez, A., Reyes-Villagrana, R.A., Rentería-Monterrubio, A.L., Sánchez-Vega, R., Tirado-Gallegos, J.M., & Bolívar-Jacobo, N.A. (2020). Low and high-intensity ultrasound in dairy products: applications and effects on physicochemical and microbiological quality. *Foods*, 9(11), 1688.
- Dangal, A., Timsina, P., Dahal, S., Rai, K., & Giuffrè, A. M. (2024). Advances in Non-thermal Food Processing Methods-Principle Advantages and Limitations for the Establishment of Minimal Food Quality as well as Safety Issues: A Review. *Current Nutrition & Food Science*, 20(7), 836-849.
- Góngora-Nieto, M.M., Sepúlveda, D.R., Pedrow, P., Barbosa-Cánovas, G.V., & Swanson, B.G. (2002). Food processing by pulsed electric fields: treatment delivery, inactivation level, and regulatory aspects. *LWT-Food Science and Technology*, 35(5), 375-388.
- Ho, S., & Mittal, G.S. (2000). High voltage pulsed electrical field for liquid food pasteurization. *Food Reviews International*, 16(4), 395-434.
- Martínez-Monteagudo, S. I., & Balasubramaniam, V. M. (2016). Fundamentals and applications of high-pressure processing technology. *High pressure processing of food: Principles, technology and applications*, 3-17.

### RESEÑA DEL AUTOR:

Profesor-Investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), nivel I. Miembro del cuerpo académico UACH-CA-03 *Tecnología de Productos de Origen Animal*. Líneas de investigación: Conservación y procesamiento no térmico de alimentos, alimentos funcionales y aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

## LIQUOR PRODUCTION FROM BY-PRODUCTS OF MANGO PROCESSING (*Mangifera indica* L. Haden)

*Isabel Fernanda Mireles-Luna and Ahuizolt de Jesús Joaquín Ramos\**

### ABSTRACT

The use of agro-industrial by-products, such as peels, seeds, leaves, stems, or roots, is growing significantly because they contain compounds with biological activity; this activity could benefit human health. An option of use is the elaboration of liquors by maceration at spirit beverages. This study develops a liquor of mangoes by-products, dry and fresh, macerated with different spirit beverages, and analyzes their physicochemical characteristic and consumer acceptance. The best results were for liquor from dried mango by-products macerated with rum (280), ranking a preference of 58% at the preference test and almost equaling the sensory characteristics of commercial control. These results point to the mango by-products as an option for designing liquor with good acceptance on the market.

### Keywords:

Spirit beverage, consumer acceptance, maceration, preference test.

### RESUMEN

El uso de subproductos agroindustrias, como cáscara, semillas, hojas, tallos o raíces, está aumentando notoriamente debido a su contenido de compuestos con actividad biológica; la cual podría beneficiar la salud humana. Una opción de uso es la elaboración de licores por maceración en bebidas alcohólicas. Este estudio desarrolla un licor de subproductos de mango, secos y frescos, macerados con distintas bebidas alcohólicas, y analiza sus características fisicoquímicas y la aceptación de consumo. Los mejores resultados fue un licor con subproductos secos de mango macerados con run (280), con un rango de preferencia del 58% en la prueba de degustación y con similitud a las características sensoriales de un control comercial. Estos resultados indican que los subproductos de mango son una opción para elaborar licores con buena aceptación en el mercado.

### Palabras clave:

Bebida alcohólica, aceptación de consume, maceración, prueba de degustación.

Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Roque.  
km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 38124, Roque, Celaya, Guanajuato, México.

\*Autor de correspondencia: [ahuizolt.jr@roque.tecnm.mx](mailto:ahuizolt.jr@roque.tecnm.mx)

## 1. Introduction

Using by-products from the food industry has gained significant importance, as they provide a source of bioactive compounds, including antioxidants and additives like colorants and texturizers used within the food sector (Nirmal et al., 2023). A particularly intriguing application for fruit by-products is the production of liqueurs since the peels and seeds retain a substantial quantity of compounds that not only enhance the aroma and flavor of the liqueurs even offer biological benefits for the health of consumers. These compounds are extracted through maceration with various distillates, such as rum, whiskey, vodka, or brandy (Śliwińska et al., 2015).

Examples of the use of by-products from the juice industry, such as apple peel, beetroot, and black chokeberry were macerated with a 40% alcohol mixture and analyzed for their phenolic profile, antioxidant activity, and consumer acceptance. Although this study did not compare these products with any commercial liqueurs, the general acceptance ratings ranged from 6.3 to 7.4 on a scale of 9. The aromas and flavors, distinct to each type of fruit, scored between 4.5 and 6.7 out of 9, indicating the potential of utilizing these peels as raw materials for liquor production (Petrović et al., 2021).

Mango (*Mangifera indica* L. Haden) is one of the most widely cultivated and globally consumed fruits, both in its fresh form and processed products. In 2023, global production of mango, mangosteen, and guava was projected to reach 2.3 million tons, with mango accounting for 75% of this total. Mexico, renowned for its mango production, holds the leading position in worldwide exports (FAO, 2024). According to the Agrifood and Fisheries Information Service (SIAP, 2024), on August 31st, 2024, the total mango production in Mexico was 2,161,763.98 tons, and approximately

30% of this production is a raw material for the food industry, with only the pulp being used in various products. Consequently, around 260,411 tons of mango by-products were generated during the industrial processing of this fruit. This study aimed to assess whether mango by-products, typically used in candy production, could also serve as a viable option of liquor production for the local market of Celaya, Mexico.

## 2. Materials and methods

### *Experimental design*

For preparing the liquor, the created formulations were based on raw materials derived from the mango by-products, specifically bone and peel in two distinct forms. The first form utilized fresh mango with whole bone and peel and the second form involved the drying and crushing of the peel and bone using a stone disc mill. The alcoholic distillates employed in the process were rum and sugarcane distillate with alcohol content of 38% (V/V) and 20% (V/V), respectively. Table 1 describes the experimental design for the liqueur formulations.

### *Liquor preparation*

The fruits of *Mangifera indica* L. Haden, commonly called the "Petacón" mango, were bought from the Celaya food market. The fruit was carefully selected and handled manually. The disinfection uses a chlorine solution (15 mL of commercial chlorine per liter of water). After this, the peeling and pulping were completed manually, with the pulp being utilized to create mango-based products. The seeds were fragmented and dried in a forced convection oven at 55°C for 48 hours, while the peels were dried at 50°C for 40 h.

Table 1. Experimental design to test mango liqueur formulations.

Identifier*	Description
153	Whole and fresh peel and pit are washed and disinfected, and then macerated in rum with 38% (V/V) alcohol.
312	Whole and fresh peel and pit are washed and disinfected, and then macerated in sugarcane distillate with 20% (V/V) alcohol.
280	Dried and pulverized peel and pit, and macerated in rum with 38% (V/V) alcohol.
710	Dried and pulverized peel and pit, and macerated in sugarcane distillate with 20% (V/V) alcohol.
121	Commercial alcoholic beverage, mango flavored and carbonated, with 4.7% (V/V) alcohol

\*The identifier code is based on sensory tests applied a head.

The dehydrated mango peels were processed in a “Black and Decker” brand blender, model BL1830SGM, at high speed for about 5 minutes until a fine powder was achieved. Meanwhile, the mango seed was ground using a manual grain mill and set to a 6 mm opening between the discs. The maceration was carried out by mixing 250 g of peel and 250 g of seed for each liter of rum (38% alc. vol.) and cane alcohol (20% alc. vol.) for both fresh and dry treatments. The flask was kept in a cool, dark place for a month, with soft shaking every three days. Subsequently, the macerate was filtered using a “sky blanket,” followed by a secondary filtration through coffee maker filter paper No. 4. The resulting liquid was then stored in a glass flask.

To prepare the liquor, sugar was dissolved in water and brought to a boil. The resulting syrup, which was at room temperature, was then combined with the macerate to achieve a concentration of 12% alcohol by volume (alc. vol.) and 33 °Brix in a total volume of 750 mL. The glass container, sealed with a metal lid, was labeled and stored in a cool place, away from sunlight. To measure the °Brix of each sample, a portable hand-held Abbe refractometer model ZWAJ was used. A drop of the sample was placed on the device after it had been calibrated, and the measurement was recorded.

The titratable acidity was determined by taking 10 mL of the sample and placing it in a 100 mL Erlenmeyer flask along with three drops of phenolphthalein (an indicator solution). It was then titrated with 0.1 N NaOH. The acidity, expressed as grams of malic acid per 100 mL of liquor, is calculated using the formula:  $(\text{volume of NaOH} \times N \times 67) / \text{sample volume}$ .

The pH was measured using a potentiometer with ion-selective electrodes, model Consort C3010, which had already been calibrated. For the measurement, 10 mL of the sample was placed in a 50 mL beaker, and the electrode was submerged to obtain the reading.

#### *Sensory tests.*

In the preference ranking tests, the panelists received five samples labeled with a unique 3-digit code (Table 1). Among these samples was a control sample labeled 121. The panelists were asked to rank the samples in ascending order, with one being the most preferred and five being the least, based on taste, smell, and color. To assess whether the preference for a specific liquor was due to taste rather than chance, the number of times each liquor was selected as the top choice was analyzed using the goodness-of-fit test, with a significance level ( $\alpha$ ) set at 0.01.

To evaluate and quantify the positive and negative attributes of mango liquor, a Quantitative Descriptive Analysis (QDA) method was employed to obtain an organoleptic score. The sensory perceptions assessed included taste, color, aroma, texture, sweetness, and transparency—attributes commonly found in fruit liqueurs. The evaluation scale ranged from one to five, where one represented the lowest intensity of perception and five represented the highest. For transparency, a score of 1 indicated a cloudy appearance, while a score of 5 indicated a crystalline appearance. Three samples were evaluated: samples 153 and 280, which were the preferred options from the ranking test, and a commercial control, sample 121. The test was conducted by a panel of 15 individuals who had experience consuming liqueurs.

The experimental data from the replicates of the physicochemical tests and the score test were analyzed using one-way ANOVA with a significance level of  $\alpha=0.05$  to assess the differences between formulations. Following this, the treatment means were further examined with the Tukey test, also applying a significance level of  $\alpha=0.05$ .

### **3. Results and discussion.**

Table 2 presents the results of the physicochemical evaluations of formulations derived from mango by-products in comparison to commercial control. The formulation labeled 153 recorded the highest pH value of 4.40, closely followed by formulations 312 and 710, which exhibited significantly similar values of 4.20. In contrast, formulation 280 displayed a lower pH of 3.43, while the commercial control had the lowest pH value at 3.20.

In terms of titratable acidity, formulation 280 ranked highest, followed by formulation 312 with a value of 6.01 and formulation 710 at 5.93. These acidity values correspond with the pH readings, although the acidity for formulation 153 was unexpectedly low at 3.38, suggesting it should exhibit similar acidity levels to those of formulations 312 and 710 or perhaps even an alkaline pH given the amount of titrated acid. The control (121) had the lowest acidity at 2.80, indicating it might show an alkaline pH. However, it is important to note that this is a carbonated beverage, which can affect pH due to the presence of dissolved CO<sub>2</sub>. When CO<sub>2</sub> dissolves in water, it forms carbonic acid (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), the concentration of which decreases as CO<sub>2</sub> evaporates.

The soluble solids values presented in Table 2 indicate that formulation 153 had the highest value at 24.66,

followed by formulation 710 at 15.0, and then formulation 280 at 12.33, which is statistically similar to

formulation 312. The commercial control drink (121) had the lowest soluble solids values.

Table 2. Values of the physicochemical analysis carried out on liquors based on mango by-products and on the commercial control.

Analysis	153	280	312	710	121
pH	4.40a	3.43c	4.20b	4.19b	3.20d
Acidity (grams of malic acid/100 mL)	3.38d	6.31a	6.01b	5.93c	2.80e
Soluble solids (°Bx)	24.66a	12.33c	13.33bc	15.0b	6.33d

Different letters in the same row indicate significant difference between means with  $\alpha < 0.05$ . 153, rum with fresh by-products; 280, rum with dry by-products; 312, sugarcane liquor with fresh by-products; 710 sugarcane liquor with dry by-products; 121, mango-flavored alcoholic beverage control.

The difference in soluble solids between formulations F1 and F3, both made with fresh mango by-products, can be attributed to the characteristics of the solvents used. Specifically, rum contains 48% (V/V) alcohol, while cane alcohol contains only 20% (V/V). Pinelo et al. (2005) reported that during the extraction of total soluble solids from grape pomace, ethanol performed better than water when compared with methanol and water. Similarly, Plaza et al. (2023) demonstrated that increasing the percentage of ethanol resulted in a higher amount of total soluble solids.

Figure 1 illustrates the results of the ranking test conducted on four formulations created from mango processing by-products. The most preferred formulations were identified as 153 and 280. This finding is supported by the goodness-of-fit test, a statistical analysis that

assesses whether the frequency with which a particular nominal classification is selected reflects consumer preference for the product's characteristics rather than occurring by chance (Lind et al., 2012).

Particle size plays a significant role in the extraction process, and the choice of solvent can remarkably impact the yield of extracts, such as the total polyphenol content (TPC). Jovanović et al. (2017) showed that TPC concentrations increased with a decrease in particle size, reaching a maximum with a 50% alcohol solution as the solvent. In this study, the fresh mango seeds were not reduced in size compared to the dried by-products, which were pulverized. These variables may affect the extraction of aroma and flavor compounds during maceration.

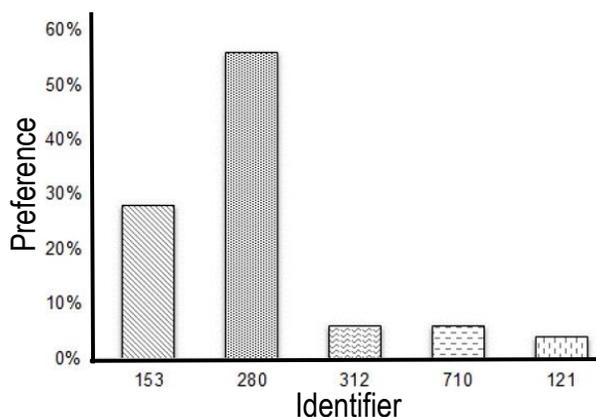


Fig. 1. Consumer preferences in sorting test. 153, fresh bone and peel macerated in rum with final alcohol of 12% (V/V); 280, dry bone and peel macerated in rum with final alcohol of 12%(V/V); 312, fresh bone and peel macerated in sugarcane distillate with final alcohol of 12%(V/V); 710, 312, fresh bone and peel macerated in sugarcane distillate with final alcohol of 12%(V/V).

The analysis of the score test relies on the olfactory-gustatory and retronasal senses, with their interpretations expressed through the degree of acceptability among panelists using a designated scale (Lawless & Heymann, 2010). Figure 2 illustrates the various characteristics evaluated on the score test scale and indicates that the sensory perception of formulation 280, which is based on rum and dry by-products, closely resembles the control (121). However, formulation 280 surpasses the control in terms of taste and aroma. In contrast, the formulation that utilizes rum and fresh by-products is quite similar to the control but is outperformed by it concerning taste and color. The observed differences in color and flavor could be

attributed to the higher concentration of phytochemicals in the extracts, as formulation 280 benefits from a smaller particle size of the by-products. This finding aligns with Hanousek Čiča et al. (2020), who demonstrated that enhancing phytochemical compounds in carob extracts improved liquor aroma. Furthermore, research by Baggenstoss et al. (2008) examined the effects of moisture content (5.10, 10.04, and 14.70 g of water on a wet basis) in lightly roasted coffee. Their results indicated that the concentration of most compounds was higher in coffee extracts with an initial moisture content of 5.10 g, suggesting that moisture presence in the sample may impact the extraction of aromatic compounds.

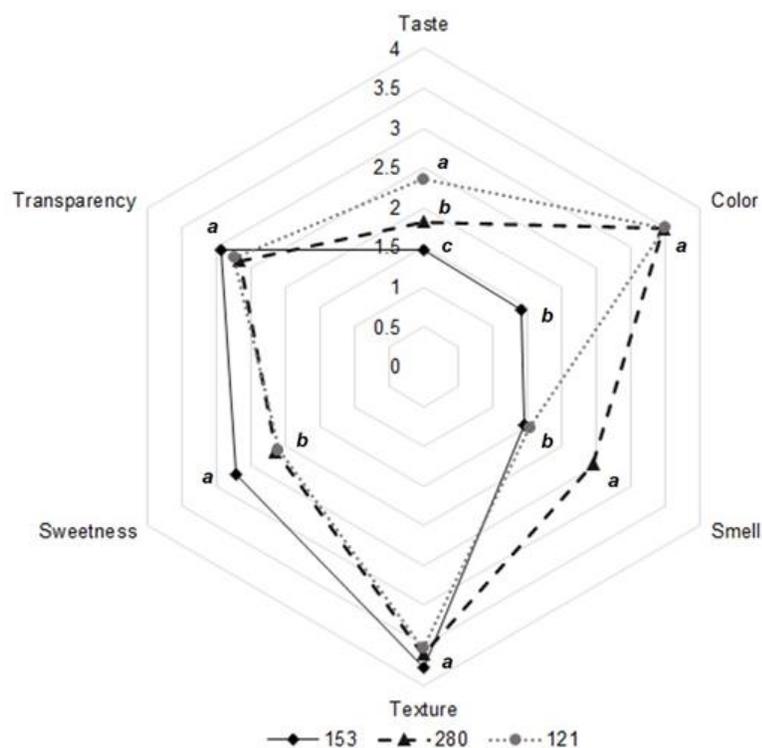


Fig. 2. Sensory qualities of mango liqueurs based on the results of the score test. Equal letters in the same quality indicate no significant difference between the means with  $\alpha < 0.05$ . 153, rum with fresh by-products; 280, rum with dried by-products; 121, mango-flavored alcoholic beverage control.

#### 4. Conclusion

The results indicate that the type of distillate used for macerating the by-products, which is the base of the liquor, plays a significant role. In this study, both fresh and dry by-products macerated with rum received favorable feedback from the panelists during the preference test. Furthermore, in the scoring test, the

maceration of dry by-products with rum exhibited the closest resemblance to the commercial control, suggesting it could be a strong contender in the liquor market. Additionally, the mango peel and seed by-products still demonstrate their capacity to impart appealing aromas and flavors to the liquors.

## Bibliography

- Baggenstoss, J., Poisson, L., Kaegi, R., Perren, R., & Escher, F. (2008). Roasting and Aroma Formation: Effect of Initial Moisture Content and Steam Treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5847–5851. DOI: 10.1021/jf8003288.
- FAO. (2024). Principales frutas tropicales. Análisis de mercado. Resultados preliminares 2023. Roma.
- Hanousek Čiča, K., Mrvčić, J., Srećec, S., Filipan, K., Blažić, M., & Stanzer, D. (2020). Physicochemical and aromatic characterization of carob macerates produced by different maceration conditions. *Food Science and Nutrition*, 8(2), 942–954. DOI: 10.1002/fsn3.1374.
- Jovanović, A.A., Đorđević, V.B., Zdunić, G.M., Pljevljakušić, D.S., Šavikin, K.P., et al. (2017). Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat- and ultrasound-assisted techniques. *Separation and Purification Technology*, 179, 369–380. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.055.
- Lawless, H.T., & Heymann, H. (Eds.). (2010). Acceptance Testing. In *Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices* (2nd ed., pp. 325–348). Springer Science+Business Media.
- Lind, D.A., Wathen, S.A., & Marchal, W.G. (Eds.). (2012). Métodos no paramétricos: pruebas de bondad de ajuste. In *Estadística aplicada a los negocios y a la economía* (15th ed., pp. 648–679). McGraw-Hill.
- Nirmal, N. P., Khanashyam, A.C., Mundanat, A.S., Shah, K., Babu, K.S., et al. (2023). Valorization of Fruit Waste for Bioactive Compounds and Their Applications in the Food Industry. *Foods*, 12(3), 1–26. DOI: 10.3390/foods12030556.
- Petrović, M., Veljović, S., Tomić, N., Zlatanović, S., Tosti, T., et al. (2021). Formulation of novel liqueurs from juice industry waste: Consumer acceptance, phenolic profile and preliminary monitoring of antioxidant activity and colour changes during storage. *Food Technology and Biotechnology*, 59(3), 282–294. DOI: 10.17113/ftb.59.03.21.6759.
- Pinelo, M., Rubilar, M., Jerez, M., Sineiro, J., & Núñez, M.J. (2005). Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 2111–2117. DOI: 10.1021/jf0488110.
- Plaza, A., Rodríguez, L., Concha-Meyer, A.A., Cabezas, R., Zurob, E., et al. (2023). Effects of Extraction Methods on Phenolic Content, Antioxidant and Antiplatelet Activities of Tomato Pomace Extracts. *Plants*, 12(5), 1–20. DOI: 10.3390/plants12051188.
- SIAP. (2024). Avance de Siembras y Cosechas. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- Śliwińska, M., Wiśniewska, P., Dymerski, T., Wardencki, W., & Namieśnik, J. (2015). The flavour of fruit spirits and fruit liqueurs: A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 30(3), 197–207. DOI: 10.1002/ffj.3237.

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

### EXPLORACIÓN DE EXTRACTOS ACUOSOS DE SEMILLAS Y DERIVADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BRUSHITA ESFÉRICA

*José Antonio Martínez Carreón e Iván Jalil Antón Carreño Márquez\**

#### Resumen

La Brushita ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) es un mineral perteneciente a la familia de los fosfatos. Su crecimiento cristalino es laminar, pero en condiciones particulares puede precipitar como esferas. La morfología esférica es de interés en la ingeniería biomédica para la regeneración de tejido óseo. Se ha reportado la producción de Brushita esférica a partir de extractos acuosos de salvado de trigo, aunque el uso de otros precursores similares no ha sido explorado. Se realizaron extracciones acuosas de derivados del trigo, arroz, avena, linaza y quinoa. Mediante la adición de  $\text{Ca}^{2+}$  la biomineralización de Brushita ha sido inducida y caracterizada mediante microscopía óptica y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Las señales infrarrojas obtenidas sugieren que el salvado arroz es viable como materia prima para la producción de partículas esféricas de Brushita.

#### Abstract

Brushite ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) is a mineral from the phosphate family. Its crystal growth occurs in sheets, nevertheless it could precipitate as spherical particles. This morphology is of great interest for biomedical engineering due to its applications in bone tissue regeneration. It has been reported the production of spherical Brushite particles from wheat bran aqueous extracts but, as the best of author's' knowledge, no similar precursors have been used with the same purpose. In this study aqueous extracts from wheat, rice, and oat bran, as well as quinoa and flax seeds and wheat germ have been used to precipitate Brushite through the addition of  $\text{Ca}^{2+}$  ions. Characterization was performed via optical microscopy and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). Results suggest that wheat and rice bran can produce spherical Brushite while other seeds and brans does no deliver adequate morphology or Brushite at all.

#### Palabras Clave:

Salvado, semilla, extracto acuoso, biomineralización

#### Keywords:

Bran, seed, aqueous extract, biomineralization

Universidad Politécnica de Chihuahua.  
Av. Teófilo Borunda No. 13200, Col. Labor de Terrazas, C.P. 31220, Chihuahua, Chihuahua, México.  
\* Autor de correspondencia: jcarreno@upchihuahua.edu.mx

## 1. Introducción

El descubrimiento de la agricultura es uno de los más grandes hitos por los que ha atravesado el Homo sapiens (Harari, 2020). Sin embargo, incluso con lo sofisticada y eficiente que se ha vuelto la industria alimenticia actualmente se pierde cerca de un tercio de la producción global de alimentos anualmente, lo que representa de 1.3 mil millones de toneladas. Uno de los principales componentes de estas pérdidas son los cereales, de los cuales el trigo, el arroz, la soya y la quinoa son los principales contribuyentes (Rashwan et al., 2023). Durante el procesamiento de ciertos granos el salvado se acumula volviendo problemático su manejo y disposición. Se estima que anualmente se produce más de 150 millones de toneladas de salvado de trigo (Prückler et al., 2014) y 29 millones de toneladas de salvado de arroz (Sharif et al., 2014). Por sus componentes (proteínas, minerales, carbohidratos y otros compuestos) el salvado puede ser utilizado crudo o bien darle algún tipo de valor agregado (Pastel, 2005; Balandrán-Quintana et al., 2015; Sharif et al., 2014). Dentro de sus aplicaciones más básicas se encuentra su uso como suplemento nutricional por sus efectos antioxidantes (Tlais et al., 2020) y de inhibición enzimática (Sahu et al., 2021), además de servir como alimento en la ganadería (Tan et al., 2023) o piscicultura (Fiefil et al., 2022). Por otro lado, al ser sometido a algún proceso puede ser usado para la producción de bioetanol (Roukas & Kotzekidou, 2022) o bioplástico (Alonso-González et al., 2021), así como coadyuvar en el transporte de compuestos activos en sistemas biológicos (Zolqadri et al., 2023) o en la remoción de metales pesados (Madela, 2021).

Se ha encontrado que el extracto acuoso de salvado de trigo, por su alta concentración de ácido fítico, puede ser utilizado para la producción de Brushita esférica (Zavala-Corrales et al., 2020), un mineral de importancia en la ingeniería biomédica (Fuchs et al., 2022). El ácido fítico es un compuesto de almacenamiento de fósforo presente en gran variedad de semillas como la linaza o la quinoa (Kumar et al., 2021). Otros componentes detectados por Zavala-Corrales (2020) en los extractos acuosos de salvado de trigo incluyen péptidos que sirven como andamios para la biomineralización del fosfato de calcio (Carreño-Márquez et al., 2023). Esto hace a las semillas, en general, buenos candidatos para aportar fósforo en cantidades suficientes para precipitar fosfato de calcio. Debido a que los huesos están

formados en más de dos terceras partes por fosfatos (Michigami & Ozono, 2019), es un candidato perfecto para ser utilizado como material de relleno (Demir-Oğuz et al., 2023). Las propiedades fisicoquímicas de la Brushita la vuelven un material relativamente fácil de producir y adsorber en los tejidos, además de que la morfología esférica reduce la abrasión y el tiempo de recuperación (Moseke et al., 2012; Hlabse & Walton, 1965). El presente estudio tiene como objetivo explorar la viabilidad de los extractos acuosos de otros salvados y semillas para determinar si estos tienen la capacidad de formar este biomaterial.

## 2. Metodología

Se obtuvieron extractos acuosos de salvado de trigo, arroz y avena, semilla de quinoa y linaza, hojuela de quinoa, linaza molida y germen de trigo. Estos materiales en su conjunto en adelante serán referidos como las materias primas. Estas se adquirieron de fuentes comerciales minoristas como se declara en la Tabla 1. Las extracciones acuosas se realizaron partiendo de la metodología propuesta por Zavala-Corrales (2020) y mostrada en la Figura 1. El material se cribó utilizando una malla U.S. Standar #40 (425  $\mu\text{m}$ ) para eliminar la presencia de partículas contaminantes. Posteriormente se lavó con agua tridestilada en una relación 1:10 (material:agua) y se secó en un horno de convección Felisa FE291 a  $40\pm 3$  °C por 24 horas. La extracción acuosa se realizó a temperatura ambiente utilizando agitación magnética a 750 rpm por 3 horas en una placa de calentamiento Corning PC-420D. La mezcla resultante fue filtrada utilizando una tela de organza, donde el sólido retenido fue descartado. El extracto fue centrifugado en una centrifuga Velab CVQ-4005 por 10 minutos a 805 xg a temperatura ambiente. El precipitado fue descartado y al sobrenadante se le adicionó una solución 0.75 M de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) en proporción 1:10 (sobrenadante:  $\text{CaCl}_2$ ). La mezcla fue incubada por 10 días a 4 °C sin agitación para posteriormente separar el precipitado por decantación y secarlo a  $40\pm 3$  °C por 24 horas.

El precipitado, de obtenerse, fue recuperado y su morfología analizada en un microscopio óptico MotiC EcoSeries. La identificación del material se realizó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) utilizando un equipo Thermo Nicolet Nexus 670 desde los 600 a los 4000  $\text{cm}^{-1}$  con resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  y velocidad de 0.6329  $\text{cm/s}$ .

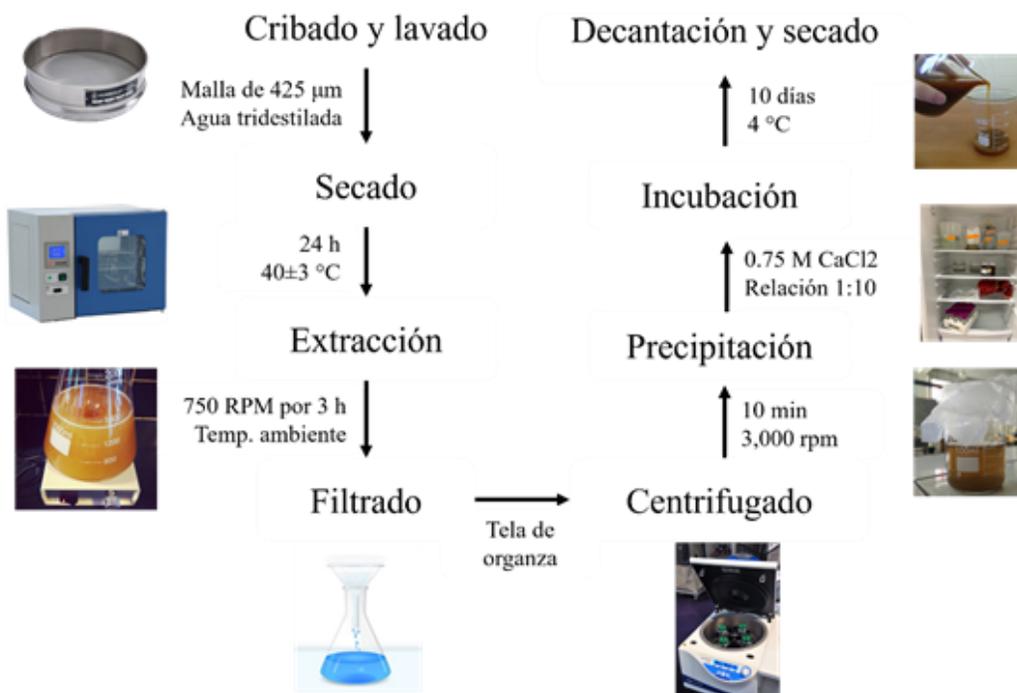


Fig. 1. Pasos para la obtención de precipitados a partir de extractos acuosos.

Tabla 1. Información de las materias primas utilizadas para las extracciones acuosas.

Materia prima	Marca comercial	Lote	Origen
Salvado de trigo	Maxilu	3223	México
Salvado de arroz	Independiente	-	México
Salvado de avena	RapiSalvado	LSA090523	México
Hojuela de quinoa	Okko Super Foods	010823/07	Perú
Quinoa entera	Okko Super Foods	080823/44	Perú
Semilla de linaza	Carepak	SL5130923	México
Linaza molida	Carepak	LM5040923	México
Germen de trigo	Maxilu	3323	México

### 3. Resultados y discusión

Los extractos retirados de la incubación fueron inspeccionados visualmente (Figura 2) en busca de características particulares. El extracto de semilla de linaza y de linaza molida generaron soluciones de alta viscosidad, mientras que el resto de los extractos presentaron una viscosidad similar a la del agua. Todos los extractos se decantaron y secaron. Solo los extractos de salvado de trigo, salvado de arroz, hojuela de quinoa y quinoa entera presentaron precipitados (Tabla 2). El resto de los extractos fueron descartados. En el caso de la semilla de linaza y la linaza molida, su elevado contenido de lípidos y fibra dietética (Mueed et

al., 2022) dieron como resultado un extracto de alta viscosidad, lo que impidió la eficiente extracción y posterior biomineralización.

Los materiales resultantes fueron observados en microscopio óptico para determinar la morfología del precipitado. El salvado de trigo y el salvado de arroz presentaron una mezcla de precipitados esféricos y laminares (Figura 3a y 3b), mientras que los extractos de quinoa produjeron material amorfo y viscoso (Figura 3c y d). El caso del salvado de trigo es congruente con los resultados obtenidos de manera independiente por Zavala-Corrales et al. (2020) y Carreño-Márquez et al. (2023), mientras que resultados similares no han sido

reportados previamente con salvado de arroz. Los diámetros observados se encuentran en el rango de los cientos de micrómetros, lo que es congruente con tamaños de partícula reportados previamente a partir de diversos métodos de producción de Brushita esférica (Bohner et al. 2013). Si bien las dimensiones de las esferas dependen directamente del método de

síntesis utilizado, se ha observado que temperaturas menores los diámetros tienden a aumentar (Moseke et al., 2012). Debido a que el presente trabajo es un estudio exploratorio de la capacidad de producción de partículas esféricas de diversas fuentes, en el futuro se requerirá analizar a mayor detalle la distribución de tamaños producida por el salvado de arroz.

Tabla 2. Resultados de la precipitación en los diferentes extractos acuosos y morfología resultante.

Materia prima	Precipitado	Morfología
Salvado de trigo	+	Esférica y laminar
Salvado de arroz	+	Esférica y laminar
Salvado de avena	-	N/A
Hojuela de quinoa	+	Amorfo
Quinoa entera	+	Amorfo
Semilla de linaza	-	N/A
Linaza molida	-	N/A
Germen de trigo	-	N/A



Fig. 2. Extractos acuosos obtenidos. La viscosidad alta se indica con un rombo rojo.

La caracterización por FT-IR de los precipitados esféricos indican la formación de una sola fase. En la Figura 4 se aprecian algunos espectros obtenidos en el rango de 700 a 3600  $\text{cm}^{-1}$ , en los cuales se identifica el material como fosfato de calcio dihidratado o Brushita. Las señales en infrarrojo de la Brushita están bien identificadas en la literatura, ya sea en muestras obtenidas por precipitación directa (Hirsch et al., 2014) o mediante biomieralización (Zavala-Corrales et al., 2020; Carreño-Márquez et al., 2023). Las vibraciones de tensión de las moléculas de agua fueron identificadas en 3283 y 2924  $\text{cm}^{-1}$  mientras que su tijereteo fue observado en 1649  $\text{cm}^{-1}$  (Seki et al.,

2020). Las vibraciones de tensión del enlace P=O fueron encontradas en 1133 y 1058  $\text{cm}^{-1}$  y su vibración de tijereteo fue ubicada en 1215 y 790  $\text{cm}^{-1}$  (Mevellec et al., 2013). Señales características de los grupos amino de proteínas y que aparecen entre de 1600 y 1650  $\text{cm}^{-1}$  pueden estar traslapadas con señales de la Brushita (Barth, 2007) mientras que otras correspondientes a vibraciones C-H aparecen aproximadamente en 2880  $\text{cm}^{-1}$  (Nga et al., 2020). Esto sugiere la presencia de péptidos o proteínas asociadas a las partículas de Brushita; sin embargo, esta hipótesis requiere un análisis proteómico posterior.

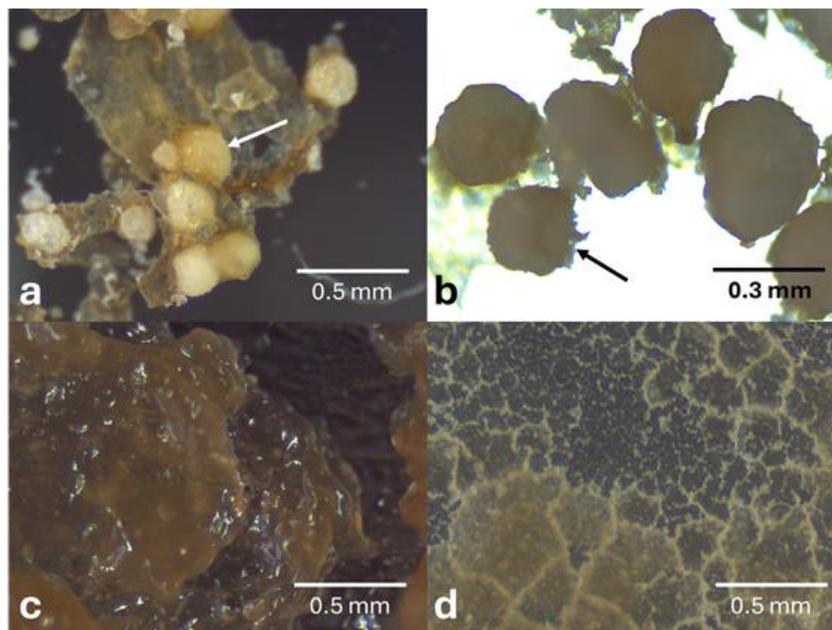


Fig. 3. Imágenes de microscopía óptica. Extractos de: a) salvado de trigo, b) salvado de arroz, c) semilla de quinoa y d) extracto de quinoa. Con flechas en a) y b) se indica la morfología esférica de interés.

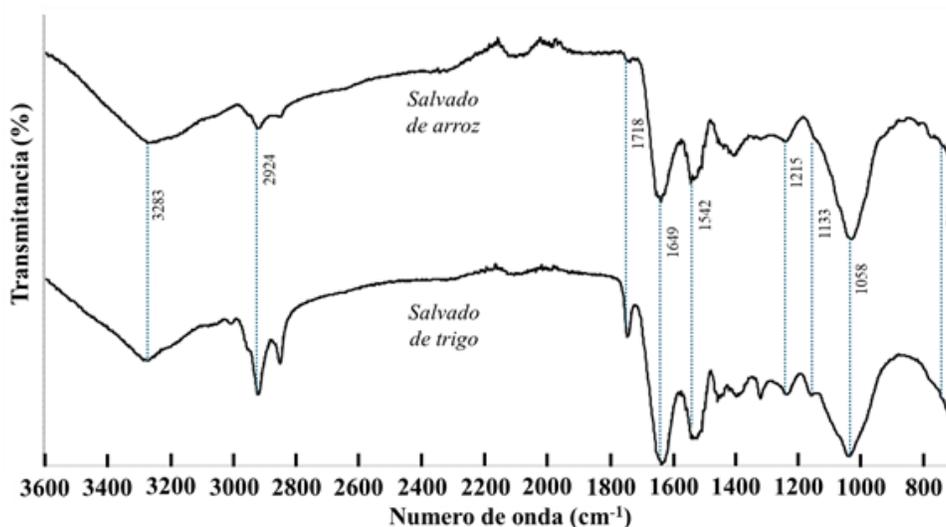


Fig. 4. Vibraciones obtenidas por FT-IR de las partículas esféricas precipitadas.

Las semillas y sus derivados están compuestos de proteínas, lípidos, carbohidratos, agua y otras biomoléculas. La composición específica puede variar y es susceptible a factores como la estación de cosecha, las condiciones de cultivo o la parte de la planta que se

analice (Wu et al., 2024; Copeland & McDonald, 1999). Sin embargo, uno de los componentes que está presente de manera persistente es el ácido fítico ( $C_6H_{18}O_{24}P_6$ ). Este tiene una estructura particular que le permite ligarse con proteínas, carbohidratos o

minerales, lo cual lo vuelve un importante antioxidante para las plantas (Graf & Eaton, 1990). El rompimiento del ácido fítico por la acción de la enzima fitasa da como resultado la liberación de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Gupta et al. 2015). Este ion puede utilizarse, mediante la adición de calcio, para la biomineralización de Brushita (Zavala-Corrales et al. 2020). Tanto el salvado de trigo como el salvado de arroz poseen cantidades similares de ácido fítico (Gupta et al. 2015) lo que explica porque sus extractos acuosos fueron capaces de precipitar Brushita. Tanto en la quinoa (Valencia-Chamorro, 2016) como en la linaza (Oomah et al., 1996) la cantidad de ácido fítico es menor por lo que la probabilidad de que formen Brushita también lo es. Carreño-Márquez et al. (2023) determinaron que la presencia de ciertas proteínas o péptidos promueven la producción de partículas esféricas, su ausencia o baja concentración en otros tipos de extractos pudo impedir su formación. Esta hipótesis merece un minucioso estudio proteómico posterior.

#### 4. Conclusiones

La producción de partículas esféricas de Brushita es relevante para la biomedicina ya que estas poseen atractivas características como materiales de relleno óseo. Si bien existen diversos métodos para su producción, el uso de extractos acuosos de diversos subproductos alimenticios recién está siendo explorado. En el presente trabajo se observó por primera vez la producción de estas partículas esféricas de Brushita a partir del salvado de arroz.

Dado que el salvado de arroz es uno de los principales subproductos agroindustriales a nivel global, su potencial inserción en la economía circular mediante su uso para la creación de materiales avanzados es prometedora. En el caso del salvado de arroz se requiere un estudio proteómico que determine si las moléculas andamio que dan origen a la morfología esférica son iguales o similares a las del salvado de trigo. Adicionalmente, se requiere optimizar las condiciones de precipitación y hacer un análisis de la distribución de tamaño de partícula.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica de Chihuahua por las facilidades prestadas para la elaboración del presente trabajo a través de la Convocatoria de Investigación 2023. Al Mtro. Eduardo Alonso Barbosa Sáenz, encargado del despacho de rectoría de la universidad, la Dra. María Guadalupe

Roacho Torres, directora de carrera y a la M.C. Guadalupe Elizabeth Aranda Gardea encargada del laboratorio de química, por las diversas gestiones realizadas.

#### Referencias

- Alonso-González, M., Felix, M. & Romero, A. (2021). Rice bran-based bioplastics: Effects of biopolymer fractions on their mechanical, functional and microstructural properties. *Polymers*, 14(1), 100. DOI: 10.3390/polym14010100.
- Balandran-Quintana, R.R., Mercado-Ruiz, J.N. & Mendoza-Wilson, A.M. (2015) Wheat bran proteins: a review of their uses and potential. *Food Rev. Int.* 31:279–93 DOI: 10.1080/87559129.2015.1015137.
- Barth, A. (2007). Infrared spectroscopy of proteins. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1767(9), 1073–1101. DOI: 10.1016/j.bbabi.2007.06.004.
- Bohner, M., Tadier, S., van Garderen, N., de Gasparo, A., Döbelin, N., & Baroud, G. (2013). Synthesis of spherical calcium phosphate particles for dental and orthopedic applications. *Biomatter*, 3(2). DOI: 10.4161/BIOM.25103.
- Carreño-Márquez, I.J.A., Balandrán-Quintana, R.R., Azamar-Barrios, J.A., Huerta-Ocampo, J.Á., Mendoza-Wilson, A.M., et al. (2023) Proteomic analysis of the biomineralization of spherical Brushite produced from a wheat bran aqueous extract. *Food Biosci.*, 53, 102692, DOI: 10.1016/J.FBIO.2023.102692.
- Copeland, L.O. & McDonald, M.B. (1999). *The Chemistry of Seeds*. In: *Principles of Seed Science and Technology*. Springer, Boston, MA. DOI: 10.1007/978-1-4615-1783-2\_3.
- Demir-Oğuz, Ö., Boccaccini, A.R. & Loca, D. (2023) Injectable bone cements: What benefits the combination of calcium phosphates and bioactive glasses could bring? *Bioact. Mater.* 19 217–236. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2022.04.007.
- Flefil, N.S., Ezzat, A., Aboseif, A.M. & El-Dein, A.N. (2022). Lactobacillus-fermented wheat bran, as an economic fish feed ingredient, enhanced dephytinization, micronutrients bioavailability, and tilapia performance in a biofloc system.

- Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 45, 102521.
- Fuchs, A., Kreczy, D., Brückner, T., Gbureck, U., Stahlhut, P., et al. (2022) Bone regeneration capacity of newly developed spherical magnesium phosphate cement granules, *Clin. Oral Invest.* 26, 2619–2633.  
DOI: 10.1007/s00784-021-04231-w.
- Graf, E. & Eaton, J.W. (1990) Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radic Biol Med.* 8(1):61-9.  
DOI: 10.1016/0891-5849(90)90146-a.
- Gupta, R.K., Gangoliya, S.S. & Singh, N.K. (2015) Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *J Food Sci Technol* 52(2):676-84.  
DOI: 10.1007/s13197-013-0978-&.
- Harari, Y.N. (2015). *Sapiens: A brief history of humankind*. Harper.
- Hirsch, A., Azuri, I., Addadi, L., Weiner, S., Yang, K., et al. (2014) Infrared absorption spectrum of brushite from first principles, *Chem.Mater.*, 26(9) (2014) 2934–2942.  
DOI: 10.1021/CM500650T/.
- Hlabse, T. & Walton, A.G. (1965) The nucleation of calcium phosphate from solution. *Anal. Chim. Acta.* 33(C), 373–377.  
DOI: 10.1016/S0003-2670(01)84906-0.
- Kumar, A., Singh, B., Raigond, P., Sahu, C., Mishra, U. N., Sharma, S., & Lal, M.K. (2021). Phytic acid: Blessing in disguise, a prime compound required for both plant and human nutrition. *Food research international*, 142, 110193.  
DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110193.
- Mevellec, J.Y., Quillard, S., Deniard, P., Mekmene, O., Gaucheron, F., et al. (2013). Polarized infrared reflectance spectra of brushite (CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) crystal investigation of the phosphate stretching modes, *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 111, 7–13.  
DOI: 10.1016/j.saa.2013.03.047.
- Michigami, T. & Ozono K. (2019) Roles of phosphate in skeleton. *Front. Endocrinol.*, 10 180.  
DOI: 10.3389/fendo.2019.00180.
- Moseke, C., Bayer, C., Vorndran, E., Barralet, J.E., Groll, J. & Gbureck, U. (2012) Low temperature fabrication of spherical brushite granules by cement paste emulsion. *J. Mater. Sci.: Mater. Med.*, 23 (11), 2631–2637.  
DOI: 10.1007/S10856-012-4740-1.
- Mueed, A., Shibli, S., Korma, S.A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., & Deng, Z. (2022). Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes. *Foods.* 11(20), 3307.  
DOI: 10.3390/foods11203307.
- Nga, N.K., Thanh Tam, L.T., Ha, N.T., Hung, V.P., & Huy, T.Q. (2020). Enhanced biomineralization and protein adsorption capacity of 3D chitosan/hydroxyapatite biomimetic scaffolds applied for bone-tissue engineering. *RSC Advances*, 10(70), 43045–43057.  
DOI: 10.1039/d0ra09432c.
- Oomah, B. D., Kenaschuk, E. O. & Mazza, G. (1996) Phytic Acid Content of Flaxseed As Influenced by Cultivar, Growing Season, and Location. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 (9), 2663-2666.  
DOI: 10.1021/jf9601527.
- Prückler, M., Siebenhandl-Ehn, S., Apprich, S., Holtinger, S. & Haas, C. (2014) Wheat bran-based biorefinery 1: composition of wheat bran and strategies for functionalization. *LWT Food Sci. Technol.* 56:211–21.  
DOI: 10.1016/j.lwt.2013.12.004.
- Rashwan, A.K., Bai, H., Osman, A.I., Eltohamy, K. M., Chen, Z., et al. (2023) Recycling food and agriculture by-products to mitigate climate change: a review. *Environ Chem Lett* 21, 3351–3375.  
DOI: 10.1007/s10311-023-01639-6.
- Roukas, T. & Kotzekidou, P. (2022). From food industry wastes to second generation bioethanol: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(1), 299-329.  
DOI: 10.1007/s11157-021-09606-9.
- Sahu, R., Kundu, P. & Sethi, A. (2021) In vitro antioxidant activity and enzyme inhibition properties of wheat whole grain, bran and flour defatted with hexane and supercritical fluid extraction. *LWT*, 146, 111376.  
DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111376.
- Seki, T., Chiang, K.Y., Yu, C.C., Yu, X., Okuno, M., et al. (2020). The bending mode of water: A powerful probe for hydrogen bond structure of aqueous systems. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 11, 8459–8469.  
DOI: 10.1021/acs.jpcclett.0c01259?ref=pdf.

- Sharif, M.K., Butt, M.S., Anjum, F.M. & Khan, S.H. (2014) Rice bran: a novel functional ingredient. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54:807–16.  
DOI: 10.1080/10408398.2011.608586.
- Tan, B.L., Norhaizan, M.E., & Chan, L.C. (2023) Rice Bran: From Waste to Nutritious Food Ingredients. *Nutrients*, 15, 2503.  
DOI: 10.3390/nu15112503.
- Tlais, A.Z.A., Fiorino, G.M., Polo, A., Filannino, P., & Di Cagno, R. (2020) High-Value Compounds in Fruit, Vegetable and Cereal Byproducts: An Overview of Potential Sustainable Reuse and Exploitation. *Molecules*, 25, 2987.  
DOI: 10.3390/molecules25132987.
- Valencia-Chamorro, S. (2016). Quinoa, Overview. In: B. Caballero, Ed., *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*, Academic Press, Waltham, 2003, pp. 4895-4902.  
DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00995-0.
- Wu, Q., Zhang, M., Hu, H., Tu, Y., Gao, P., et al. (2024) Comparative study on chemical composition, functional properties of dietary fibers prepared from four China cereal brans. *Int J Biol Macromol.* 257(2):128510.  
DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.128510.
- Zavala-Corrales, J.L., Balandrán-Quintana, R.R., Azamar-Barríos, J.A., Mendoza-Wilson, A.M., Hurtado-Solórzano, P.G. & Pompa-Redondo, J.S. (2020) Wheat bran extracts as biomineralization scaffolds: An exploratory study leading to aqueous solution synthesis of spheroidal brushite particles. *Food Bioprod. Process.*, 121, 238–249.  
DOI: 10.1016/J.FBP.2020.03.003.
- Zolqadri, R., Damani, M.H., Malekjani, N., Kharazmi, M.S. & Jafari, S.M. (2023). Rice bran protein-based delivery systems as green carriers for bioactive compounds. *Food Chemistry*, 420, 136121.  
DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136121.

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

### STUDY OF THE NOZZLE ANGLE IN A COAXIAL FLOW FOR MILK DROP FORMATION

*María José Ramírez-Rivera and Christian O. Díaz-Ovalle\**

#### Abstract

The generation of liquid particles is remarkable in food processes and depends on the nozzle angle. This work theoretically analyzes how the nozzle angle influences an isothermal coaxial flow. This analysis proposed several nozzle angles to determine the behavior of the droplets inside the system. The Computational Fluid Dynamics simulated milk droplets under a fluid-particle interaction. The results demonstrated that the nozzle angle modifies the flow patterns and generates a mixing zone of particles close to the injection point. The lower nozzle angles yield a reduced mixing zone. These results are previous elements for the spray drying process of milk.

#### Keywords:

CFD, turbulence, particle tracking

#### Resumen

La formación de partículas líquidas es importante en los procesos de alimentos y depende del ángulo de aspersión. Este trabajo analiza teóricamente el efecto del ángulo de aspersión en un flujo coaxial isotérmico. Varios ángulos de aspersión son propuestos para observar el comportamiento de las partículas dentro del sistema. La herramienta de Dinámica Computacional de Fluidos simuló partículas de leche bajo una interacción fluido-partícula. Los resultados indican que el ángulo de aspersión modifica la trayectoria del flujo y genera una zona de mezclado de partículas cercano al punto de inyección. Los ángulos de menor tamaño lograron una reducida zona de mezcla. Estas observaciones son elementos preliminares para el análisis del secado de aspersión de partículas de leche.

#### Palabras claves:

CFD, turbulencia, trayectoria de partículas

Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México/I. T. Roque  
carretera Celaya-Juventino Rosas km 8.0 Celaya, Gto., 38124, México  
\*Autor de correspondencia: christian.do@roque.tecnm.mx

## 1. Introduction

Spray flows are reclaimed in most processes in the food industry. Sirignano (2010) and Ashgriz (2011) have conducted the mathematical formulation of this flow, where a multi-factorial system dominates the spray generation, such as tension forces, liquid properties, pressure, temperature, etc. Nevertheless, Michaelides et al. (2017) have declared a complex nature of the spray flow and proposed a diversity of classes and phenomena during the liquid breakup through a nozzle. Fritsching (2004) has described the main elements of simulating spray flows via Computational Fluid Dynamics (CFD). Besides, the study of spray flows and particle formation from a nozzle is an extended topic, and this study follows brief and selected works to avoid an exhausting review.

The particle injection flow has presented diverse approaches to predict the particle behavior through a coaxial flow. Experimentally, Liu et al. (2012) tested the granular jet mass flux in the wavy fluid flow and the oscillating dispersion regime based on the Strouhal number. Their results presented three-phase interface behaviors in response to the air jet velocity, where the granular jet becomes discontinuous near the nozzle orifice. Fang et al. (2015) found that the gas backflow influences the entrainment phenomena in the particles. They indicated the existence of a critical annular gas velocity for granular streams and the reverse dispersion angle. In detail, Fang et al. (2017) studied granular coaxial jets where a recirculation zone appears when the annular gas velocity increments. This flow yields a negative pressure zone in the surroundings. The injection position remarkably influences the particle recirculation. Similarly, Ba et al. (2022) observed how the nozzle contract angle influences the hydrodynamic behavior of the particles, and the concentration increases near the nozzle exit. And, Ba et al. (2023) studied an annular coaxial nozzle and found the existence of vortices in the particle flow pattern.

Although all these works declared important flow patterns during injections, the theoretical studies have reached remarkable advances in this phenomenon, and the CFD technique models such elements through a jet injection to form a discrete phase in a Eulerian-Eulerian approach (Fritsching, 2004). Pedel et al. (2014) simulated the dispersed particulate phase in their code for LES (Large Eddy Simulation) and found segregation effects in the small particle flowthrough. Patro et al. (2016) developed a mixture model for a Eulerian-

Eulerian approach for a co-flow system where a high loading reduces the gas phase velocity. Liu et al. (2023) exposed an LES subgrid-scale model with four-way coupling, and the results presented a swirling flow zone due to the pressure gradients and the internal toroidal recirculation. The swirling inner flow extends to the external flow field and generates a vortex ring of similar size to the jetting nozzle. Zhang et al. (2024) solved a coaxial flow in a supercritical fluid where the particles close to Stokes  $<1$  followed the flow streamlines otherwise the particles were freer in the fluid field.

The nozzle design has been modified to understand the particle flow. Yu et al. (2012) tested different nozzles under several turbulence models, where the ring nozzle increases the turbulence intensity, and the Reynolds Stress Model predicts accurate results for turbulent fluctuations. And, Alam et al. (2016) provided a detailed design of nozzles by varying the configuration in diverse angles and demonstrated the insignificant effect on the shear layer of the nozzle angle.

Due to the lack of experiments for predefined operative parameters of nozzles, e.g., the nozzle angle, cone diameter, etc., the literature has not specified their significance level in the flowthrough. This study describes the effect of the cone angle in a whole conical nozzle during a coaxial flow of milk and advances in particle distribution to prevent particle agglomeration in food processes, such as spray drying.

## 2. Methodology

This study considers a cylindrical chamber with an inlet airflow interacting with milk drops without evaporation in an isothermal process. The injection system consisted of a solid cone (azimuthal angle of  $360^\circ$ ) in the same direction as the airflow. The analysis considers several injection angles after spray formation:  $5^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ , and  $80^\circ$ . The commercial CFD package ANSYS® Fluent 2024 R1 developed the numerical simulations by following the conventional CFD strategy: a) creation of the computation domain, b) meshing of the system, and c) testing of the injection angles.

### 2.1 Description of the system

The cylindrical chamber is 24 cm in diameter and 1 m in height. The air enters at  $27^\circ\text{C}$  by an annular face with 15.5 cm of outer diameter and 8.3 cm of inner diameter (3.6 cm of separation). The injection point is the central upper point of the chamber. Figure 1 a) schematizes the dimensions and parts of the system.

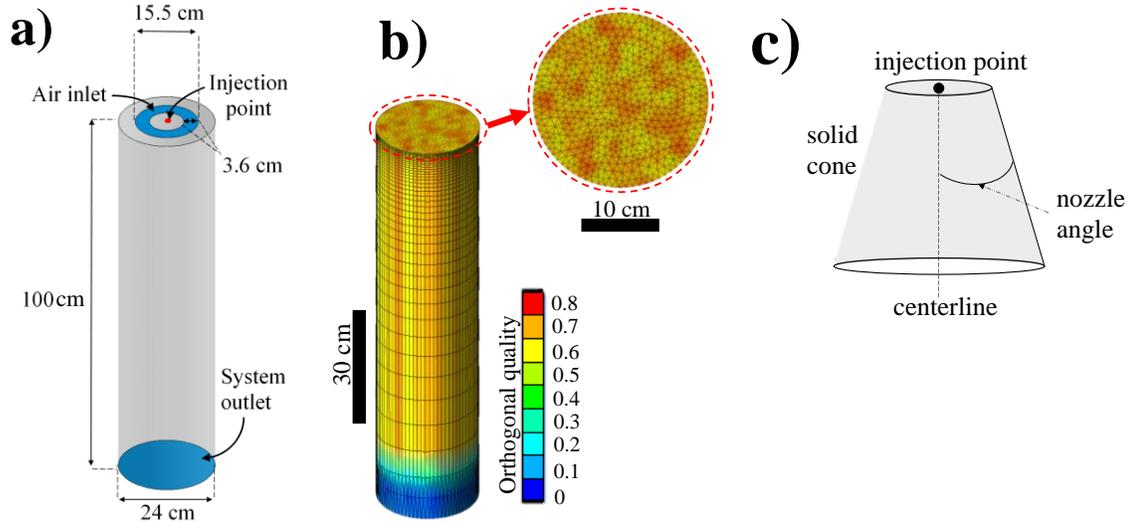


Fig. 1. Cylindrical chamber: a) dimensions and boundary conditions, b) proposed mesh with the orthogonal quality profile, c) nozzle angle definition.

## 2.2 Meshing of the system

The discretizing process yields control volumes (cells or mesh) into the computational domain. For this case, the cells are 46,177 tetrahedron elements under a growing pattern from the upper section to the lower face, with precision increments during the numerical solution for the formation of milk drops. Nevertheless, the mesh quality is an important indicator to reduce numerical errors during the solution. Herein, diverse parameters measure the mesh quality, where the orthogonal quality is selected. This parameter corresponds to the ratio of the distance of the centroid of the orthogonal vector of the cell and the distance of the centroid of the cell, and the desired values are close to 1 (one). Figure 1 b) depicts the mesh for this study and the orthogonal quality profile.

## 2.3 Boundary conditions

The airflow is 8.4 m/s at 27°C with a low level of

turbulence that equates to turbulence intensity of 5%. The milk drops are 1027 kg/m<sup>3</sup> of density, 0.048 N/m of surface tension, 0.002314 kg/ms of viscosity (Frias-Esquivel et al., 2017), and an average diameter of 20 μm. The size distribution corresponds to 10 different diameters from 1 μm to 30 μm under the Rosin-Rammler distribution. The conical injection is 0.01 kg/s and 0.5 m/s.

## 2.4 Governing equations

The system is an isothermal flow under a steady state that conserves mass, momentum, and turbulence. Herein, the κ-ε realizable model describes the turbulence and considers the alternative formulation for the turbulence viscosity with a better spectral energy transfer in the turbulent flow and without singularities in the destruction term of turbulence (Yeoh & Yuen, 2010). Table 1 contains the governing equations for this study.

Table 1. Governing equations.

Name	Equation
Mass conservation	$\nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0$
Momentum conservation	$\nabla \cdot \rho \mathbf{v} \mathbf{v} = -\nabla p - \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} + \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \text{Re} C_D (\mathbf{v} - \mathbf{v}_p)$
Kinetic turbulence energy	$\nabla \cdot \rho \kappa \mathbf{v} = \nabla \cdot (\mu + \mu_t / \sigma_\kappa) \nabla \kappa - \rho \varepsilon$
Dissipation of turbulence	$\nabla \cdot \rho \varepsilon \mathbf{v} = \nabla \cdot (\mu + \mu_t / \sigma_\varepsilon) \nabla \varepsilon + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \varepsilon^2 / (\kappa + \sqrt{v \varepsilon})$
Discrete phase	$\frac{d\mathbf{v}_p}{dt} = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \text{Re} C_D (\mathbf{v} - \mathbf{v}_p) + \mathbf{g} \left( \frac{\rho_p - \rho}{\rho} \right)$
Notation	$S = \sqrt{2\mathbf{S} : \mathbf{S}}$ , with $\mathbf{S} = (\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T) / 2$

### 2.5 Numerical solution

The SIMPLE algorithm solved this case study and considered the second-order upwind discretization approach under a hybrid initialization. The calculation demanded around 25 min per simulation to reach 1000 iterations in a steady state. The solution was possible in an Intel® Core™ i7-3770 3.4 GHz computer with 24 GB RAM.

### 3. Results

This study compares diverse nozzle angles during the spread of milk drops to contact the coaxial flow. Figure 1 c) depicts diverse proposed nozzle angles. After spread, all cases presented an evaporation region near the injection point and produced a divergent trajectory of milk drops. This behavior results from the water vapor formation

that blocks the drops instead of yielding a whole jet stream.

Figure 2 depicts the velocity profile into streamlines and the particle diameter distribution. The airflow produces a recirculation zone close to the walls at the upper section. Fang et al. (2015) experimentally observed the same phenomenon in granular streams for different gas velocities. The high velocity yields a mixing zone that affects the cone formation in response to the evaporation zone. In the 5° nozzle angle, the milk drops experience a low affection by the airflow, whereby the flow distributes the milk drops through the system. Thus, the increment of the nozzle angle demonstrates the effect of the airflow that collapses the drop distribution into a mixing zone close to the injection point. The result is a narrow flow through the cylinder.

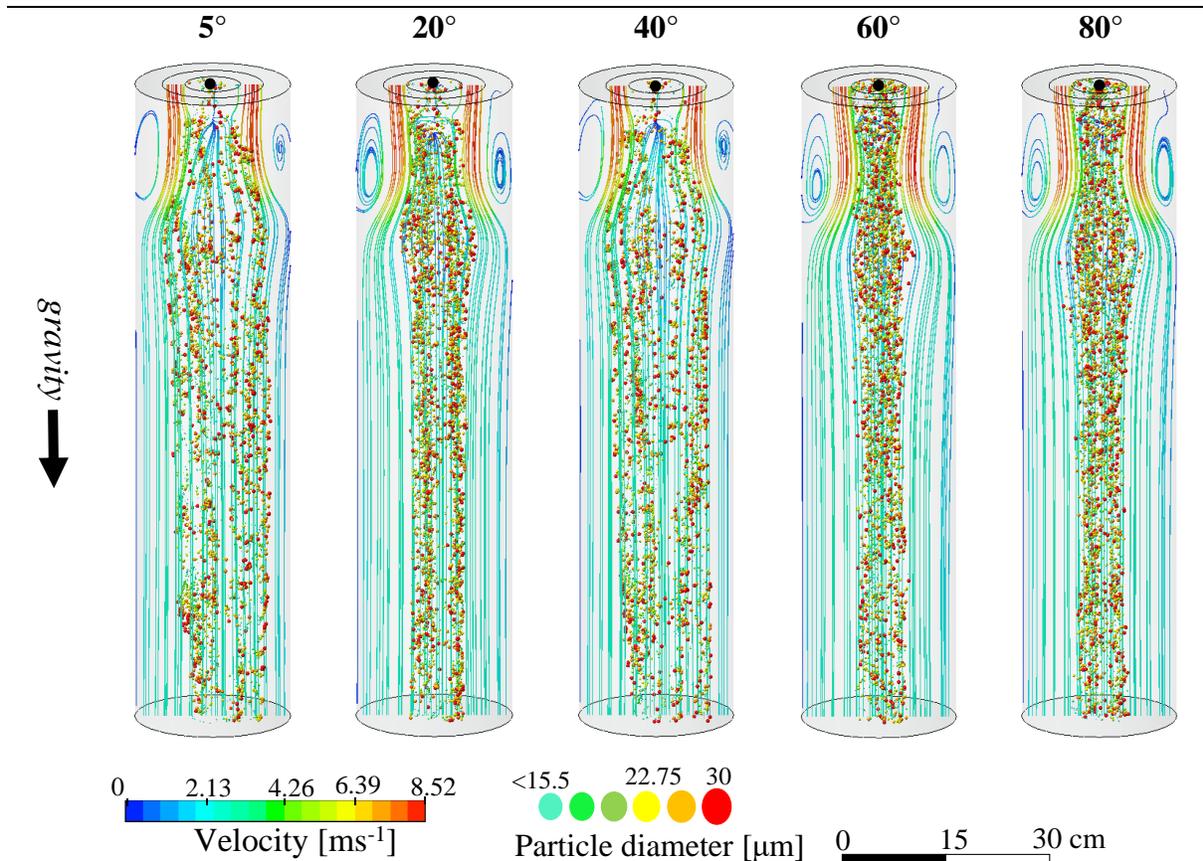


Fig. 2. Streamlines and particle diameters for several nozzle angles: a) 5°, b) 20°, c) 40°, d) 60° and e) 80°.

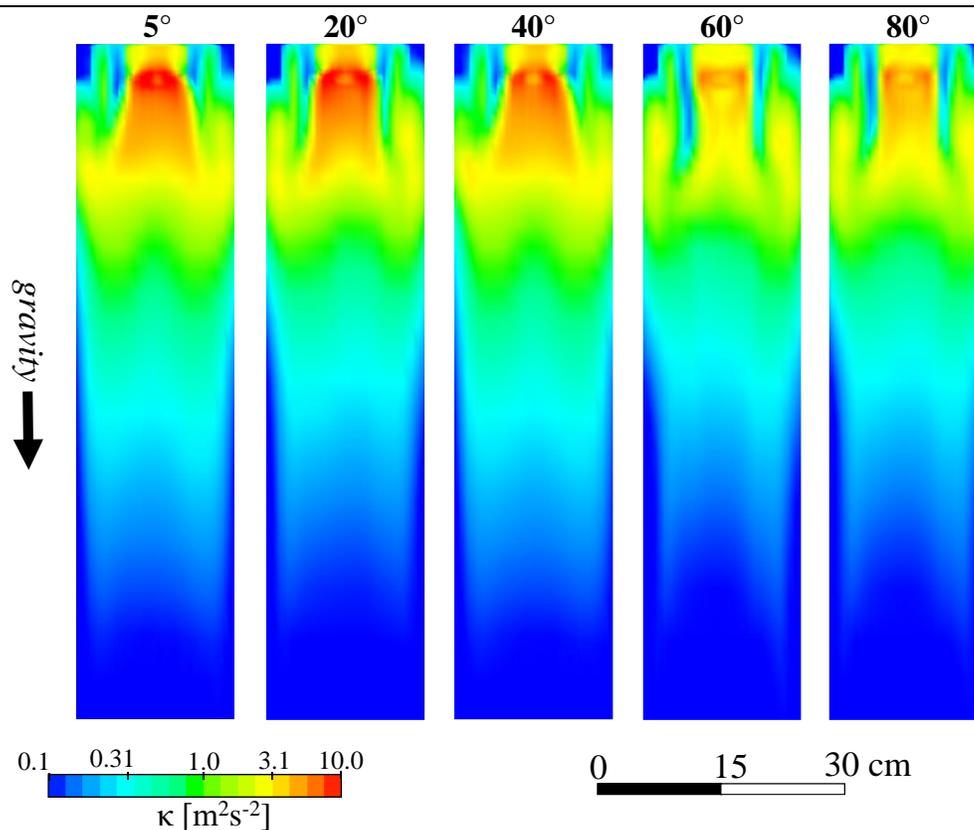


Fig. 3. Profiles of kinetic turbulence energy for several nozzle angles: a) 5°, b) 20°, c) 40°, d) 60°, and e) 80°.

The turbulence kinetic energy explains the level of turbulence for a system. Figure 3 depicts this parameter with an intense turbulence region after the evaporation zone. The nozzle angle influences on the level of turbulence due to the evaporation rate. The narrowness of the case lower angle intensified the turbulence; this response is similar to cases of 20° and 40°. On the other hand, the greater nozzle angles reduce the turbulence level due to the low evaporation rate.

The mass concentration of the milk drops identifies potential evaporation zones, which were not predicted herein. Figure 4 schematizes the distribution of the mass concentration through the cylinder chamber. The cases of 60°, 80°, and 20° presented high mass concentration values, but in particular, the nozzle angle of 60° concentrated the drops in a section where the remaining nozzle angle. In particular, the 40° nozzle angle yields a

transitional behavior between the rising of the nozzle angle and the turbulent zone that reduces the particle concentration.

#### 4. Conclusion

The CFD technique has succinctly described the hydrodynamic behavior of the milk drops in a coaxial flow. The results have indicated the remarkable effect of the injection angle on the velocity profile, turbulence intensity, and particle concentration inside the system. The test of several injection angles demonstrated that the low angles do not generate a mixing zone close to the injection point by creating an evaporation zone. These observations contribute to understanding the use of predefined numerical elements to simulate spray injection in CFD tools and extend to simulate food processes, such as spray drying, grain humectation, cleaning systems, etc.

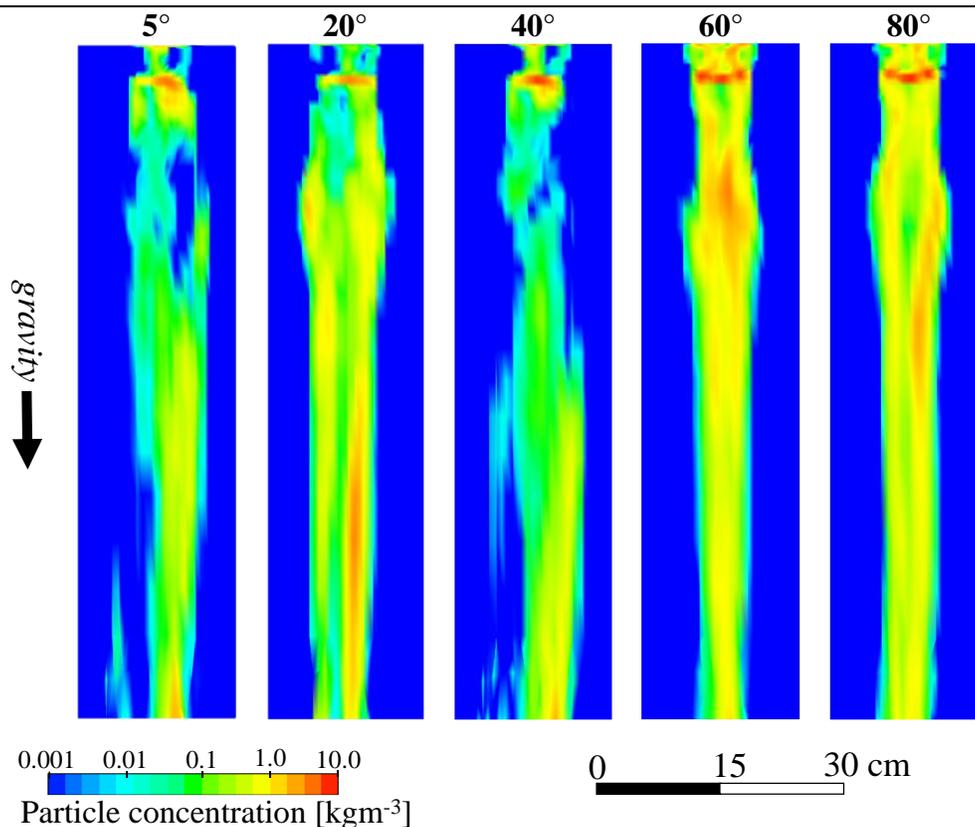


Fig. 4. Profiles of particle concentration for several nozzle angles: a) 5°, b) 20°, c) 40°, d) 60° and e) 80°.

### Nomenclature

$C_1, C_2$	constants of turbulence model
$C_D$	drag coefficient
$d_p$	particle diameter
$\mathbf{g}$	vector form of gravity acceleration
$p$	pressure
$Re$	Reynolds number
$\mathbf{v}$	fluid velocity vector
$\mathbf{v}_p$	particle velocity vector

### Greek letters

$\varepsilon$	rate of dissipation
$\kappa$	turbulence kinetic energy
$\mu$	fluid viscosity
$\mu_t$	turbulence viscosity
$\rho$	fluid density
$\rho_p$	particle density
$\sigma_\kappa$	turbulent prandtl number for $\kappa$
$\sigma_\varepsilon$	turbulent prandtl number for $\varepsilon$
$\boldsymbol{\tau}$	fluid stress tensor

### Acronyms

CFD	Computational Fluid Dynamics
SIMPLE	Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations

### Acknowledgement

The authors appreciate the financial support by CONAHCYT, México through the scholarship 1260180 and SNII.

### Declaration

Images used are courtesy of ANSYS, Inc.

### References

- Alam, M.M.A., Setoguchi, T., Matsuo, S., & Kim, H.D. (2016). Nozzle geometry variations on the discharge coefficient. *Propulsion and Power Research*, 5(1), 22-33.  
DOI: 10.1016/j.jprr.2016.01.002.

- Ashgriz, N. (Ed.). (2011). Handbook of atomization and sprays: theory and applications: Springer Science.
- Ba, Z., Wang, Y., Zhao, J., Hao, Z., Li, C., et al. (2023). Comparative study on gas-particle transport characteristics subjected to the central and annular coaxial jets. Powder Technology, 413, 118080.  
DOI: 10.1016/j.powtec.2022.118080.
- Ba, Z., Zhao, J., Hao, Z., Li, J., Yang, X., et al. (2022). Effects of the nozzle contraction angle on particle flow behaviors in a gas-particle two-phase jet. Experimental Thermal and Fluid Science, 135, 110624.  
DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2022.110624.
- Fang, C., Xu, J., Zhao, H., Li, W., & Liu, H. (2015). Experimental investigation on particle entrainment behaviors near a nozzle in gas-particle coaxial jets. Powder Technology, 286, 55-63.  
DOI: 10.1016/j.powtec.2015.07.041.
- Fang, C.C., Xu, J.L., Zhao, H., Li, W.F., & Liu, H.F. (2017). Particle movements in near field induced by thick-wall effect in a dense gas-solid coaxial jet. Powder Technology, 320, 7-13.  
DOI: 10.1016/j.powtec.2017.07.018.
- Frías-Esquível, J., González-Alatorre, G., Díaz-Ovalle, C.O., Lesso-Arroyo, R., & Ramos-Ojeda, E. (2017). Hydrodynamic analysis of the falling-film formation in evaporators using CFD simulation. Food and Bioproducts Processing, 101, 56-67.  
DOI: 10.1016/j.fbp.2016.10.006.
- Fritsching, U. (2004). Spray simulation: modelling and numerical simulation of sprayforming metals: Cambridge University Press.
- Liu, H., Cao, W., Xu, J., Li, W., & Sun, Z. (2012). Dispersion mode of granular jet in a coaxial air jet. Powder Technology, 217, 566-573.  
DOI: 10.1016/j.powtec.2011.11.022.
- Liu, Y., Liu, J., Li, S., Li, G., & Zhou, L. (2023). Hydrodynamic modeling of coaxial confined particle-laden turbulent flow. Energy, 281, 128144.  
DOI: 10.1016/j.energy.2023.128144.
- Michaelides, E.E., Crowe, C.T., & Schwarzkopf, J.D. (Eds.). (2017). Multiphase flow handbook: CRC Press.
- Patro, P., Barik, A.K., & Patro, B. (2016). Computational study of a turbulent gas-solid confined jet flow. Powder Technology, 297, 229-238.  
DOI: 10.1016/j.powtec.2016.04.029.
- Pedel, J., Thornock, J. N., Smith, S. T., & Smith, P. J. (2014). Large eddy simulation of polydisperse particles in turbulent coaxial jets using the direct quadrature method of moments. International Journal of Multiphase Flow, 63, 23-38.  
DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.03.002.
- Sirignano, W. (2010). Fluid dynamics and transport of droplets and sprays. New York: Cambridge University Press.
- Yeoh, G.-H., & Yuen, K.-K. (2010). Computational Fluid Dynamics in fire engineering: Butterworth-Heinemann.
- Yu, Y., Shademan, M., Barron, R.M., & Balachandar, R. (2012). CFD Study of Effects of Geometry Variations on Flow in a Nozzle. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 6(3), 412-425.  
DOI: 10.1080/19942060.2012.11015432.
- Zhang, C., Shang, Y., Su, H., Ge, Z., & Guo, L. (2024). Numerical simulation of fluid-particle flow of jet in supercritical water environment. International Communications in Heat and Mass Transfer, 154, 107445.  
DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107445.

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

### APLICACIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DEL ERIZO PÚRPURA (*Strongylocentrotus purpuratus*)

Francisco Cadena-Cadena y Joe Luis Arias-Moscoso\*

#### Resumen

En el presente estudio, se extrajeron pigmentos a partir de subproductos del erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*), como lo son el caparazón y las espinas. Para este proceso se utilizó el método de maceración con diferentes solventes (acetona, agua, hexano y etanol) y extracción con la asistencia de pulsos ultrasónicos. Una vez extraídos los pigmentos se determinaron las propiedades antioxidantes por el método de DPPH, ABTS y FRAP. Los resultados mostraron una mayor capacidad antioxidante en los métodos de maceración con agua como solvente; sin embargo, los extractos obtenidos con el método de asistencia con pulsos ultrasónicos presentaron valores más altos para todos los solventes con excepción del agua. Este estudio demostró, bajo las condiciones propuestas, un efecto positivo del uso de los pulsos ultrasónicos en los procesos de maceración con distintos solventes, lo cual puede ser favorable para extraer un tipo de molécula en particular para potenciar su capacidad antioxidante.

#### Palabras Clave:

Capacidad antioxidante, subproductos, propiedades antioxidantes, maceración.

#### Abstract

In the present study, pigments were extracted from by-products of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*), such as the shell and spines. For this process, the maceration method with different solvents (acetone, water, hexane, and ethanol) and extraction with ultrasonic pulses were used. Once the pigments were extracted, the antioxidant properties were determined by the DPPH, ABTS, and FRAP methods. The results showed a greater antioxidant capacity in the maceration methods with water as a solvent; however, the extracts obtained with the method assisted with ultrasonic pulses presented higher values for all solvents except water. This study demonstrated, under the proposed conditions, a positive effect of using ultrasonic pulses in maceration processes with different solvents, which may be favorable to extract a particular type of molecule to enhance its antioxidant capacity.

#### Keywords:

Oxidative capacity, by-products, antioxidant properties, maceration

Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México/I. T. Valle del Yaqui.  
Av. Tecnológico Block 611, Bacúm, Sonora, México, C.P. 85276.

\*Autor de correspondencia: joe.am@vyaqui.tecnm.mx

## 1. Introducción

En la mayoría de las pesquerías, la del erizo púrpura genera desechos después de su procesamiento industrial y gastronómico, ya que la única región anatómica utilizada para comercializar y de consumo humano directo es la gónada. Por lo tanto, la estructura externa (caparazón y espinas) es desechada, generalmente hacia los mares. Esto genera contaminación por las grandes cantidades de materia orgánica arrojadas. Para disminuir el impacto

ambiental y económico que esta actividad ocasiona, el uso de este subproducto es una solución, la cual aplica en la obtención de pigmentos con propiedades funcionales como la capacidad antioxidante (Pagels et al., 2021). Otros compuestos provechosos son los colorantes a base de pigmentos (Zhang et al, 2024), cuya aplicación ayuda en el aumento o asignación de color a los alimentos, telas, tintas, etc., siendo más cotizados los pigmentos naturales. La Figura 1 muestra el erizo de mar y su subproducto.



a) b)  
Fig. 1. Ejemplos de erizo de mar: a) vivo y b) subproducto.

Los métodos de extracción de pigmentos son diversos siendo el más utilizado la maceración (Trusheva et al., 2007). Por otro lado, la asistencia del proceso de maceración con el uso de pulsos ultrasónicos es una tecnología emergente y considerada amigable con el ambiente (Dey & Rahod, 2013; Kumar et al., 2022); ésta utiliza ondas acústicas que viajan por la superficie del material a una velocidad determinada dependiendo de su naturaleza (Strohm et al, 2017). Esta investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar el efecto los pulsos ultrasónicos en el proceso de extracción de pigmentos de los subproductos del erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*). Así como, la determinación de efectos en el rendimiento de los pigmentos y las propiedades antioxidantes de las distintas fracciones obtenidas.

## 2. Metodología

En la actualidad, la determinación de la actividad antioxidante es posible con diferentes metodologías.

En la última década, los métodos in vitro han cobrado importancia y se fundamentan en la neutralización de radicales libres sintéticos, como la evaluación con difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH por sus siglas en inglés), capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC por sus siglas en inglés) (Rodríguez Aguirre et al., 2015) y la actividad antioxidante reductora férrica (FRAP por sus siglas en inglés) (Mercado Mercado et al., 2013). Por otra parte, los pulsos ultrasónicos están fundamentados en ondas de sonido en frecuencias mayores a las audibles por el ser humano, en un rango de 16 kHz a 20 MHz. El sistema ultrasónico es un procesador VCX 750 (Vibra cell, Sonics, Newton CT, USA) con aleación de titanio y una boquilla de 13 mm con fuente de poder de 750W a una frecuencia de 20 kHz. La Figura 2 muestra este equipo. Este estudio determinó las propiedades fisicoquímicas de su composición químico proximal, humedad, ceniza, proteínas y lípidos.

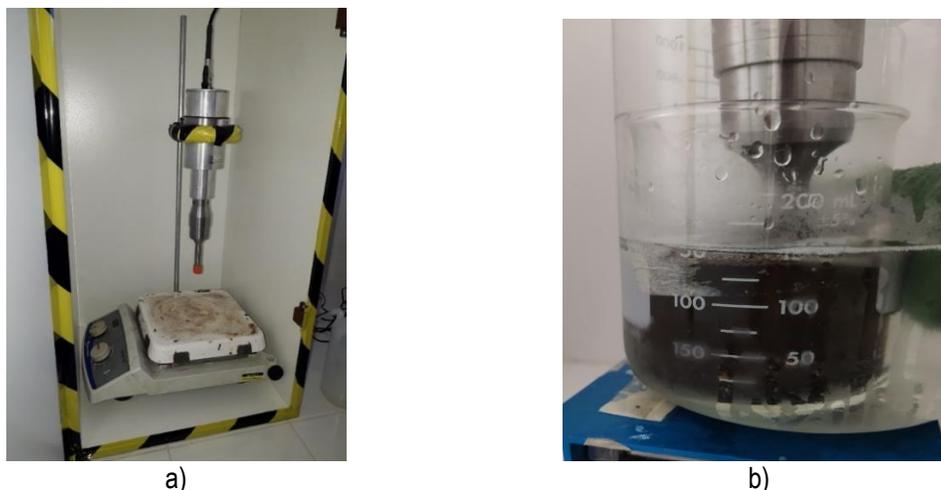


Fig. 2. Equipo ultrasónico usado en este trabajo: a) vista general y b) aplicación antes de la maceración.

### 3. Resultados

En la Tabla 1 se presentan los promedios de los análisis proximales del erizo púrpura, dividiendo el organismo en su parte comestible y la parte desechable, considerada un subproducto. Además, se realizó una comparación con otras especies de erizos de mar. Los valores de proteínas en las gónadas son

similares a los obtenidos en otras especies. Se observó una ausencia de lípidos en el caparazón, mientras que los bajos valores de proteína podrían estar relacionados con los vestigios de tejidos conectivos protectores en el interior del organismo, ya que la estructura externa del erizo está mayormente compuesta por minerales.

Tabla 1. Composición química proximal del caparazón y gónadas de erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*).

Muestra	Caparazón de erizo púrpura ( <i>S. purpuratus</i> )	Gónadas de erizo púrpura ( <i>S. purpuratus</i> )	Gónadas de erizo ( <i>S. franciscanus</i> )*	Gónadas de Erizo verde ( <i>L. albus</i> )**
Proteína (%)	0.28 ± 0.18	12.43 ± 0.57	13.63 ± 0.41	11.3 ± 0.3
Lípidos (%)	-	4.98 ± 0.4	5.04 ± 0.30	5.1 ± 0.4
Cenizas (%)	40.8 ± 0.15	3.76 ± 0.25	3.73 ± 0.05	2.26 ± 0.25
Humedad (%)	-	77.53 ± 0.81	75.40 ± 0.51	74.8 ± 0.5

Las determinaciones se realizaron por triplicado y los datos presentados son los promedios.

\*Valores tomados de Cuevas-Acuña et al. (2019).

\*\*Valores tomados de Huayta Osco (2019).

La Tabla 2 presenta la determinación de la actividad antioxidante con un patrón similar en los métodos analizados en este estudio: la actividad secuestrante del radical DPPH, la TEAC y el FRAP. Desde la perspectiva de los solventes, los mejores resultados en la prueba de DPPH se obtuvieron utilizando agua y etanol, que son los solventes con mayor polaridad. Esto sugiere que la estructura química de los extractos contiene grupos funcionales polares. Juárez Espinoza (2010) reporta la presencia de naftoquinonas, pigmentos naturales presentes en equinodermos, los cuales suelen tener grupos

hidroxilo y/o metilo como sustituyentes. El grupo hidroxilo confiere solubilidad en agua (hidrofílico), lo cual se refleja en mis resultados: en la técnica de extracción más simple, la maceración, el uso de agua como solvente produjo los valores más altos. Esto indica que los pigmentos extraídos podrían pertenecer al grupo de las naftoquinonas. Por otro lado, bajo las condiciones del presente estudio las muestras tratadas con la asistencia de pulsos ultrasónicos no tuvieron efecto significativo para la extracción de compuestos con capacidad secuestrante de radical DPPH.

Tabla 2. Actividad antioxidante de muestras de erizo de mar obtenidos por maceración y extracción asistida por pulsos ultrasónicos

Método de extracción	Solvente	DPPH	ABTS	FRAP
		mg ET/g muestra		
Maceración	Aqua	108.66 <sup>a</sup> ± 7.63	112.29 <sup>a</sup> ± 4.19	155.41 <sup>a</sup> ± 1.42
Maceración	Etanol	25.18 <sup>c</sup> ± 3.99	62.39 <sup>bc</sup> ± 3.54	31.57 <sup>d</sup> ± 8.86
Maceración	Acetona	46.60 <sup>b</sup> ± 2.19	72.58 <sup>b</sup> ± 3.58	47.76 <sup>c</sup> ± 1.23
Maceración	Hexano	35.05 <sup>c</sup> ± 6.63	67.71 <sup>c</sup> ± 5.24	39.26 <sup>d</sup> ± 1.32
Pulsos ultrasónicos	Aqua	32.30 <sup>c</sup> ± 3.92	64.82 <sup>c</sup> ± 1.58	33.09 <sup>d</sup> ± 5.16
Pulsos ultrasónicos	Etanol	98.50 <sup>a</sup> ± 2.47	79.73 <sup>b</sup> ± 0.95	97.95 <sup>b</sup> ± 3.23
Pulsos ultrasónicos	Acetona	51.79 <sup>b</sup> ± 7.30	78.24 <sup>b</sup> ± 4.95	38.83 <sup>cd</sup> ± 8.01
Pulsos ultrasónicos	Hexano	48.34 <sup>b</sup> ± 0.63	69.46 <sup>bc</sup> ± 2.40	39.77 <sup>d</sup> ± 2.29

Los valores son la media ± desviación estándar (SD) de tres repeticiones (n>3). ANOVA unidireccional, con la prueba Tukey. Las medias seguidas de una letra minúscula diferente en la misma columna indican diferencias significativas (p < 0.05).

Los resultados del análisis de TEAC son coherentes con los obtenidos en la prueba de DPPH. El mejor resultado se logró mediante la técnica de maceración con agua, 112.29 mg ET/g muestra, mientras que los valores más bajos correspondieron a los extractos obtenidos con maceración en hexano y a los extraídos con pulsos ultrasónicos en agua, 62.71 mg ET/g muestra y 64.82 mg ET/g muestra, respectivamente. Este cambio en los resultados de las extracciones con agua sugiere que los compuestos hidrosolubles pueden verse afectados durante el proceso de cavitación por ultrasonido.

La extracción con agua destaca por su capacidad de extraer compuestos antioxidantes, probablemente debido a su mayor polaridad. Esto se debe a que en la naturaleza existen muchos compuestos hidrosolubles, como los equinocromos, que pertenecen al grupo de las naftoquinonas y han sido reportados en varias especies de erizos (Ye et al., 2019). Casillas-Navarrete (2014) también observó una mayor capacidad antioxidante en muestras extraídas con agua mediante la técnica de maceración, señalando que las extracciones acuosas no solo aíslan pigmentos, sino que también capturan cualquier otro componente soluble debido a la baja selectividad del agua.

La mejora de la capacidad antioxidante en los extractos obtenidos con la asistencia de pulsos ultrasónicos se dio con el uso de los solventes acetona, etanol y hexano, posiblemente esté relacionado con el medio donde se propagan las ondas ultrasónicas ya que crean ciclos alternos de alta y baja presión. Este proceso genera burbujas de cavitación que crecen durante estos ciclos hasta que no pueden soportar más energía y colapsan. Este

colapso genera condiciones extremas localizadas en la muestra sometida a los pulsos, lo que permite que el solvente se incorpore y extraiga los pigmentos de manera más eficiente. Como resultado, se logra una mejora en el rendimiento del solvente.

Los resultados indican que asistir la maceración con pulsos ultrasónicos en etanol mejora la capacidad antioxidante de los extractos. Soto-García & Rosales-Castro (2016) describieron que el etanol en concentraciones superiores al 50% favorece el rendimiento de extracción, lo cual se confirma en este estudio. Corana-Jiménez et al. (2015) reportan que la polaridad del agua disminuye con los pulsos ultrasónicos, afectando su capacidad de extracción. Además, el agua presenta una baja selectividad, lo que se evidencia en el fuerte olor del extracto, a diferencia de los otros solventes utilizados. Por otro lado, el agua pierde efectividad al extraer pigmentos del erizo púrpura con ultrasonidos, resultando en un rendimiento ineficiente; sin embargo, el uso de los pulsos potencio la capacidad antioxidante en los otros solventes utilizados, lo cual puede favorecer la extracción y rendimiento de compuestos específicos alineados a la polaridad y fuerza iónica del solvente asociado a algún componente fenólicos de alta capacidad antioxidante.

#### 4. Conclusiones

La extracción de pigmentos antioxidantes de subproductos del erizo púrpura *S. purpuratus* es posible mediante maceración y ultrasonidos. El agua es el solvente más eficiente en la extracción por maceración, mientras que el etanol, acetona y hexano lo es con la asistencia de ultrasonidos. La eficacia de los ultrasonidos depende del solvente, ya

que algunos, como el agua, pierden afinidad, mientras que otros como etanol, acetona y hexano mejoran su rendimiento. Los compuestos fenólicos contribuyen a la actividad antioxidante y tienen afinidad por distintos solventes.

### Referencias

- Casillas Navarrete, I. (2014). Propuesta de una práctica de extracción líquida en una etapa para el laboratorio de introducción a los procesos de separación. Ciudad de México, Tesis de Ingeniería Química, Instituto Politécnico Nacional.
- Corana Jimenez, E., Martinez Navarrete, N., Ruiz Espinoza, H. & Carranza Concha, J., (2015). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*, 50(4), 403-412.
- Cuevas-Acuña, D.A., Gracia Valenzuela, M.H., Santacruz-Ortega, H.C., Valdez-Melchor, R.G., & Arias-Moscoso, J.L. (2019) Composición química, contenido de proteína, aminoácidos y morfología de gónadas de erizo de mar (*Strongylocentrotus franciscanus*), *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21(3), 86-91.
- Dey, S., & Rathod, V.K. (2013) Ultrasound assisted extraction of  $\beta$ -carotene from *Spirulina platensis*, *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 271-276.  
DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.05.010.
- Huayta Osco, J.K. (2019) Evaluación de la calidad físico, químico y sensorial en la producción de lenguas de erizo (*Loxechinus albus*) de diferentes procedencias. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú.
- Juárez Espinoza, P.A. (2010). Determinación de la actividad biológica de los extractos orgánicos del erizo de mar *Diadema mexicanum* A. Agaziss, 1863, La Paz, Baja California Sur, Tesis de Biólogo Marino, Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Kumar, G., Upadhyay, S., Yadav, D. K., Malakar, S., Dhurve, P., & Suri, S. (2023). Application of ultrasound technology for extraction of color pigments from plant sources and their potential bio-functional properties: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(6), e14238.  
DOI: 10.1111/jfpe.14238.
- Mercado Mercado, G., de la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López Díaz, J.A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, Volumen 1, 36-46.
- Pagels, F., Pereira, R.N., Vicente, A.A., & Guedes, A.C. (2021). Extraction of Pigments from Microalgae and Cyanobacteria—A Review on Current Methodologie. *Applied Sciences* 11(11), 5187.  
DOI: 10.3390/app11115187.
- Rodríguez Aguirre, O.E., Andrade Barreiro, W.A. & Díaz López, F.E., (2015). Actividad antioxidante de extractos de hojas de *Bocconia frutescens* L. (Papaveraceae). *Revista de Tecnología*, 14(2), 21-36.
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M., (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 4(18), 701-714.
- Strohm, E.M., Wirtzfeld, L.A., Czarnota, G.J., & Kolios, M.C. (2017). High frequency ultrasound imaging and simulations of sea urchin oocytes. *J. Acoust. Soc. Am.* 142 (1), 268–275. <https://doi.org/10.1121/1.4993594>.
- Trusheva, B., Trunkova, D. & Bankova, V. (2007) Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study. *Chemistry Central Journal*, 1, 1-13.  
DOI: 10.1186/1752-153X-1-13.
- Ye, K.X., Fan, T.T., Keen, L.J., & Han, B.N. (2019). A review of pigments derived from marine natural products. *Israel Journal of Chemistry*, 59(5), 327-338.
- Zhang, Z.-H., Huang, X., Chen, J., Qin, Y., & Gao, X., (2024) Recent research and prospects of non-thermal physical technologies in green and high-efficient extraction of natural pigments: A review, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 92, 103593.  
DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103593.

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### Aprovechamiento agroecológico y alimentario del mezquite: una revisión

*Angelica Espinosa-Plascencia y José Ángel Huerta-Ocampo\**

#### Resumen

El género *Prosopis* al que pertenece el mezquite comprende 44 especies de árboles y arbustos que crecen en zonas áridas y semiáridas. El mezquite tiene gran importancia agroecológica, en la industria maderera, en la medicina tradicional y nutricionalmente por sus vainas, de las cuales se obtiene harina rica en compuestos bioactivos y nutrientes, siendo utilizada en dietas para animales y elaboración de productos regionales. Además de ser una planta productora de compuestos con múltiples aplicaciones potenciales en la industria alimenticia, el polen del mezquite es considerado como un potente alérgeno y algunas especies de *Prosopis* son reconocidas como una fuente causal de enfermedades alérgicas. El objetivo de esta revisión es presentar un panorama general de los distintos beneficios que proporciona el mezquite, su potencial en la industria alimentaria y la importancia de su existencia para las poblaciones que habitan las zonas desérticas. Sin dejar de tomar en cuenta que puede además ser una fuente de aeroalérgenos con importancia clínica.

#### Palabras clave:

*Prosopis*, mezquite, polén, alergia

#### Abstract

The *Prosopis* genus, to which mesquite belongs, comprises 44 species of trees and shrubs that grow in arid and semi-arid areas. Mesquite has great agroecological importance in the timber industry, in traditional medicine, and nutritionally due to its pods, from which flour rich in bioactive compounds and nutrients is obtained, being used in animal diets and the production of regional products. In addition to being a plant that produces compounds with multiple potential applications in the food industry, mesquite pollen is considered a potent allergen, and some *Prosopis* species are recognized as a causal source of allergic diseases. The objective of this review is to present an overview of the different benefits of mesquite, its potential in the food industry, and the importance of its existence for populations that inhabit desert areas. Without forgetting that it can also be a source of aeroallergens with clinical importance.

#### Keywords:

*Prosopis*, mesquite, pollen, allergy

Laboratorio de Proteómica, Coordinación de Ciencia de los Alimentos  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.  
Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46. Colonia La Victoria. CP. 83304. Hermosillo, Sonora.

\*Autor por correspondencia: jose.huerta@ciad.mx

## 1. Introducción

Las especies de *Prosopis* fueron un alimento básico importante para los pueblos indígenas de las regiones áridas de América antes de la llegada de los europeos. Según registros del Proyecto Arqueobotánico del Valle (1950-1960), la dieta que consumían los pobladores de la región se basaba en abundantes plantas silvestres estacionales, las vainas de mezquite y los frutos de cactus. Los Chichimecas que eran cazadores y recolectores nómadas que habitaban de las montañas del norte de México, consumían vainas de mezquite. Las comunidades indígenas no sólo cosechaban las vainas de mezquite que comían como fruta fresca o en conserva, también utilizaban el mezquite con otros fines como

biocombustible, para proporcionar sombra, como planta medicinal y en la fabricación de muebles, utensilios y ornamentos. Posteriormente, su uso se extendió a la alimentación del ganado, para la producción de carbón vegetal, construcción de cercos y la extracción de miel (Pérez-Serrano et al., 2021).

El mezquite (*Prosopis* spp.) crece en zonas con poca precipitación, en suelos arenosos, terrenos salinos y pedregosos no aptos para el cultivo. En México, se puede encontrar este árbol (Figura 1) en prácticamente toda la república debido a que más del 40 % del territorio nacional está compuesto de zonas áridas y semiáridas que favorecen su crecimiento (Montañez-Valdez et al., 2021).



Fig. 1. Imágenes del mezquite: a) árbol y b) inflorescencias de mezquite.

La extracción excesiva de recursos madereros y el descuido de los bosques ha contribuido al deterioro y reducción de las áreas donde crece el mezquite, provocando un desequilibrio ecológico, deforestación y la erosión del suelo (Pérez-Serrano et al., 2021). El objetivo de este artículo es abordar un panorama general de los beneficios agroecológicos, agroindustriales y en la nutrición humana y animal que proporciona el mezquite y la importancia de su existencia en las comunidades que habitan las zonas áridas y semiáridas del país. Sin dejar de mencionar que el mezquite es también una fuente de aeroalérgenos de importancia clínica.

## 2. Aprovechamiento agroforestal

El género *Prosopis* comprende 44 especies de árboles y arbustos, distribuidos a nivel mundial en 129 países principalmente en regiones áridas y semiáridas, el mezquite se ha encontrado en países como Estados

Unidos, México, Perú, Chile, Argentina, Brasil, Australia, Haití, Paquistán y en las zonas áridas de la India (Montañez-Valdez et al., 2021).

En el Continente Americano se encuentran 42 de las 44 especies de *Prosopis*, siendo las más comunes el mezquite miel (*P. glandulosa*), mezquite tornillo (*P. pubescens*), mezquite terciopelo (*P. velutina*) y mezquite (*P. juliflora*), su introducción en los distintos hábitats fue con la finalidad de obtener recursos madereros o para reducir las áreas desérticas (Gonzales-Barron et al., 2020; Hussain et al., 2020; Shackleton et al., 2014).

El territorio mexicano está compuesto en un 40 % por zonas áridas y semiáridas, en estas regiones el cultivo del mezquite representa una alternativa para el desarrollo agropecuario y forestal que beneficia al sector rural. La mayor densidad de mezquiales se concentra principalmente en el estado de Sonora, donde abunda la especie *Prosopis articulata*, así como

en la región del Mar de Cortés y en Baja California Sur, pero también abunda en otros estados de la República Mexicana (López-Franco et al., 2006).

La importancia agroecológica del mezquite es indiscutible y entre los beneficios más importantes que genera este árbol al medio ambiente es que, al ser una planta fijadora de nitrógeno enriquece el suelo a su alrededor, aumentando la filtración de agua, esto promueve el crecimiento de matorrales asociados a él, previniendo la erosión del suelo. Además, el mezquite contribuye a la preservación de especies animales, al albergar a distintas aves y roedores que habitan en los ecosistemas de zonas áridas. También, el mezquite contribuye a mitigar los efectos del cambio climático, al regular las temperaturas locales y regionales, son árboles que resisten la exposición a los rayos ultravioleta y proporcionan protección contra los efectos negativos de la radiación a los animales que alojan, brindándoles comodidad bajo su sombra (Pérez-Serrano et al., 2021).

Los mezquites actúan como estabilizadores y protegen las cuencas hidrogeográficas, tienen la capacidad de tolerar altas salinidades, las astillas de su madera se utilizan en el tratamiento del agua para riego. A este árbol también se le ha utilizado como biorremediador de contaminación ambiental, al acumular en sus raíces, tallos y hojas, metales pesados como el cobre (Golubov et al., 2001; Meraz et al., 1998; Batista-Roche y Huerta-Ocampo, 2021). Sin embargo, a nivel mundial las principales causas de reducción de los bosques, incluidos los de mezquite han sido: la tala excesiva, los incendios forestales, los cambios en el uso del suelo para establecer campos agrícolas, la falta de un manejo sustentable, la reducción de áreas de reserva y la introducción de plantas exóticas que en ocasiones se han convertido en plagas, generando serios problemas. Todos estos factores han provocado en los ecosistemas una mayor degradación del suelo y un desequilibrio ecológico en las áreas donde crece el mezquite (Ríos et al., 2013). Por otro lado, algunas especies de árboles y arbustos de la familia Fabaceae a la que pertenece el mezquite, se han visto afectados por plagas de insectos coleópteros del género Bruchinae (conocidos como gorgojos), que se caracterizan porque sus larvas se alimentan del mesocarpio de las semillas dejando en ellas orificios que posteriormente son utilizados por el insecto adulto para salir. Las infestaciones con estos insectos afectan la dispersión, producción, viabilidad y

calidad de las semillas del mezquite (Gonzalez-Macedo et al., 2021).

### 3. Aprovechamiento industrial

El mezquite es un recurso forestal maderable fundamental para los campesinos de zonas áridas y semiáridas del territorio mexicano. Su madera es utilizada en la construcción, o bien, para la fabricación de muebles por su durabilidad y atractivo color. También, se utiliza para la producción de carbón vegetal o como leña (Henciya et al., 2017).

Además, el mezquite produce una goma conocida como chucata. Las principales especies productoras de esa goma son *P. juliflora* y *P. laevigata*. Pero también *Prosopis velutina* y *P. pubescens* la producen, estas especies crecen en el noroeste de Sonora donde las temperaturas ambientales son elevadas y al estar el mezquite expuesto a un estrés fisiológico provocado por el calor y la falta de agua, exuda la goma cuya segregación está influenciada por las condiciones climáticas. Ante el ataque de insectos y heridas mecánicas, la goma le sirve al árbol para prevenir la desecación del tejido y evitar el ingreso de patógenos (Greenwood & Morey, 1979).

La goma recolectada por los pobladores de la región es clasificada según el color y sus impurezas, los procesadores las muelen para obtener una goma en polvo cruda. Químicamente esta goma está compuesta de D-galactosa, L-arabinosa, D-glucuronato, D-manosa y D-xilosa, lo que la convierte en un carbohidrato complejo que puede tener múltiples aplicaciones en la industria alimenticia y a diferencia de la goma arábiga no contiene en su estructura L-ramnosa (Mudgil & Barak, 2020).

La goma de mezquite posee propiedades funcionales similares a la goma arábiga comercial, entre las que destaca su solubilidad en agua, viscosidad intrínseca, actividad superficial, capacidad emulsificante y encapsulante, siendo un hidrocoloide funcional. Además, ha sido evaluada por su capacidad de absorber humedad (Mudgil & Barak, 2020). Las gomas de las especies *P. juliflora*, *P. laevigata*, *P. velutina* y *P. pubescens*, se han utilizado en el microencapsulamiento de fármacos, aromas y sabores cítricos. Algunos de los agentes microencapsulantes mayormente utilizados en la industria son la goma arábiga y los almidones modificados o hidrolizados, pero también la goma de *P. laevigata* sirve para encapsular aceite de naranja en una cantidad aceptable (80.5 %) comparada con la goma arábiga

comercial (93.5 %) obtenida del árbol Acacia senegal. Además, la mezcla de ambas gomas permitió encapsular la misma cantidad de aceite de naranja que la goma arábica. Mientras que la combinación de la goma de mezquite con maltodextrinas en proporciones de 3:2, tuvo una capacidad encapsulante de 84.6 % de aceite de naranja (Luna et al., 2022; López-Franco et al., 2006).

La goma de mezquite también se ha utilizado como recubrimiento comestible de frutas y verduras para alargar su vida de anaquel y en la preparación de bebidas. Por lo que se considera que esta goma podría ser un excelente sustituto de la goma arábica en la elaboración de bebidas, confitería, aromas y sabores en polvo, productos de panificación, cerveza, vino, cosméticos y otros productos; pero su principal

desventaja es la disponibilidad en cantidades suficientes para cubrir la demanda y poder competir por el mercado de la goma arábica (Beristain et al., 1996; López-Franco et al., 2006).

#### 4. Aprovechamiento agroalimentario

El mezquite posee una abundante producción de vainas que son utilizadas principalmente como alimento en dietas integrales para bovinos, ovejas, camellos, búfalos, conejos, aves de corral y ratas, en regiones de Sudamérica, África y la India. Pero se debe considerar que el valor nutricional de la vaina es distinto dependiendo de su estado de madurez (Bhatta et al., 2007). Una comparación de la composición de las vainas de mezquite en distintas etapas de maduración se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de las vainas de mezquite en tres distintos estadios de maduración

Componente (%)	Vaina Tierna	Vaina Madura	Vaina Seca
Materia Seca	33.33	37.13	80.48
Materia Orgánica	86.12	89.58	96.23
Proteína	18.13	12.30	13.44
Grasa	7.21	7.53	2.59
Fibra detergente neutro	47.62	27.74	26.70
Fibra detergente ácido	31.66	20.31	10.64
Hemicelulosa	15.96	7.43	16.06
Cenizas	13.88	10.42	3.77
Carbohidratos	13.16	42.01	53.50
Energía Metabolizable (Mcal/kg MS)	2.43	2.86	3.03

Tomado de Montañez-Valadez et al. (2021).

Las vainas del mezquite son frutos dulces formados en un 70-75 % de pericarpio y 25-30 % de semillas. Cuando las vainas se encuentran enteras y maduras se muelen para producir harina de mezquite (Figura 2), también conocida como harina de algarrobo y es una opción versátil y sin gluten con un alto potencial

en la industria alimentaria. La composición química de la harina se presenta en la Tabla 2 y entre sus características destaca su color marrón, sabor dulce y un aroma similar al café, cacao, melaza y avellana (Gonzalez-Barron et al., 2020; Díaz-Batalla et al., 2018).

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la harina de mezquite.

Composición	Porcentaje (%)
Humedad	9.38 ± 0.20
Cenizas	3.09 ± 0.12
Proteínas	17.55 ± 0.44
Carbohidratos	66.89 ± 0.86
Fibra	0.91 ± 0.02

Tomado de Maciel de Melo et al. (2022).



Fig. 2. Vainas y harina de mezquite.

La harina de mezquite es utilizada en la elaboración de alimentos balanceados por su importante valor nutricional al ser una fuente importante de carbohidratos que puede ir de 30-75 %, proteínas de 12-36.5 %, grasa de 2.8-4.8 % y fibra dietética de 16.9-29.6 %. Además, la harina es una importante fuente de ácido palmítico (12.6 %), oleico (35 %), linoleico (45.8 %), tocoferoles y compuestos antioxidantes (Luna et al., 2022). La composición fisicoquímica de la harina de mezquite *Prosopis juliflora* se presenta en la Tabla 3.

Nutricionalmente la harina de *Prosopis laevigata* mexicana contiene proteína (10 %), grasa (3.6 %),

fibra cruda (26.7 %) y carbohidratos (56.8 %), su digestibilidad de proteína es de 78 %. Esta harina es una buena fuente de lisina, aminoácidos que contienen azufre y compuestos fenólicos totales. Además, posee una mayor capacidad para eliminar radicales libres que el frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Es importante mencionar que la harina de mezquite no contiene gluten y es una buena fuente de minerales como Ca, K, Mg, Zn y Fe, por lo que podría ser una alternativa para las personas intolerantes al gluten (Gonzales-Barron et al., 2020; Meraz et al., 1998).

Tabla 3. Composición de la harina de mezquite a diferentes temperaturas de secado.

Composición de la harina (%)	Secado a 50 °C	Secado a 60 °C	Secado a 70 °C
Humedad	4.14	2.94	2.11
Cenizas	2.64	2.54	2.36
Proteínas	17.56	16.96	14.16
Grasa	3.26	3.32	2.32
Carbohidratos	69.42	70.51	74.13
Fibra	2.98	3.73	4.92

Tomado de Maciel de Melo *et al.* (2022).

La harina de *Prosopis alba* no solo posee un elevado contenido de azúcares solubles, fibra dietética, minerales y proteínas de buena calidad, también es rico en hierro, calcio, vitamina C y contenido de polifenoles con actividad antioxidante, principalmente flavonas que podrían ayudar a prevenir patologías asociadas al estrés oxidativo (Cardozo et al., 2010).

Una utilización de la harina de mezquite en la alimentación humana es en la fabricación de dulces similares al piloncillo y pinole, estos productos son consumidos por la población de distintas regiones y son comercializados en algunos estados de la República Mexicana. Se ha reportado que el consumo de harina de mezquite favorece la reducción del estrés oxidativo,

disminuye el dolor muscular y el tiempo de recuperación post-ejercicio, siendo otra opción para deportistas, niños y jóvenes. La miel del mezquite conocida como *cuexcomate*, posee un alto contenido de fructosa (80%), agua (15-18%), potasio (2-4%) y micronutrientes como sodio, calcio y vitamina B9 (Meraz et al., 1998).

### 5. Aprovechamiento en la medicina tradicional

Las vainas de la especie *Prosopis* son una importante fuente de compuestos bioactivos con actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antihipertensivas. Los estudios epidemiológicos han encontrado una relación positiva entre el consumo de fitoquímicos (carotenoides y compuestos fenólicos) y una disminución en el riesgo de algunas enfermedades o trastornos crónicos. Los mezquites son una fuente rica de fitoquímicos, como los alcaloides, flavonoides, ácidos fenólicos, glucósidos, esteroides, taninos y triterpenoides, a los cuales se les ha reconocido por tener efectos benéficos para la salud. Las especies de mezquite más utilizadas con fines medicinales han sido *Prosopis cineraria*, *P. africana*, *P. alba*, *P. juliflora*, *P. glandulosa*, *P. nigra*, *P. farcta* y *P. spicigera* (Henciya et al., 2017; Sharifi-Rad et al., 2019). Se ha reportado que las hojas de *Prosopis juliflora* contienen alcaloides y flavonoides con actividad antimicrobiana, antifúngica, antiinflamatoria y antitumoral. Esta especie es comúnmente utilizada en Pakistán y la India, se emplea como alimento o para aplicaciones tópicas en la curación de heridas. Sus hojas, goma, flor, tallo y corteza se utilizan para el tratamiento de diversos padecimientos como: analgésico, expectorante, para la inflamación de ojos y garganta, para el dolor de muelas, cálculos renales, dolor muscular, asma, resfriado, diarrea y disentería (Sharifi-Rad et al., 2019; Valencia et al., 2020).

Las hojas de *P. alba* poseen catequinas con actividad antioxidante y las de *P. chilensis* compuestos polifenólicos. La corteza de *Prosopis* se ha utilizado como antidiarreico y antiviral y la de *P. africana* ha mostrado actividad antioxidante y antiinflamatoria, por su contenido de flavonoides (Valencia et al., 2020; Henciya et al., 2017; Díaz-Batalla et al., 2018). Los extractos acuosos de hojas y corteza se han utilizado para contrarrestar infecciones en la boca, bronquios y úlceras. Además de tener efectos antihelmínticos (elimina parásitos como gusanos), antieméticos (disminuye las náuseas y el vómito), antioxidantes y cicatrizantes, debido al contenido de flavonoides, taninos, alcaloides y compuestos fenólicos (Sharifi-Rad et al., 2019).

### 6. Impacto del mezquite en la salud pública

En los ecosistemas algunas especies de árboles se han introducido intencional o accidentalmente, convirtiéndose en ocasiones en un riesgo ecológico, o bien, teniendo un impacto negativo en la salud humana. Tal es el caso del mezquite (*Prosopis* spp.) que se ha proyectado como una amenaza para la salud humana, por el potencial alergénico de su polen. Estos árboles crecen en el norte de México, Sureste de Estados Unidos, Perú, Centroamérica y el Caribe. Sin embargo, algunas especies de mezquite han sido reconocidas como una fuente causal de enfermedades alérgicas (Hussain et al., 2020; Weber, 2007).

Actualmente la enfermedad más común y universal en el mundo son las alergias, en los países desarrollados, más del 25 % de la población las padece. La Fundación de Asma y Alergias de América ha estimado que el gobierno de Estados Unidos gasta 18 mil millones de dólares anuales en esta enfermedad crónica (Bose et al., 2023). Reportes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), indican que entre el 20 y 30 % de la población mundial sufre algún tipo de alergia, que afectan significativamente la calidad de vida de las personas. Las altas concentraciones de polen en el ambiente y el tiempo de exposición hacen que las alergias respiratorias sean un problema frecuente que incluso podría alcanzar proporciones epidémicas (Zhao et al., 2023).

Las inflorescencias de los mezquites generan granos de polen que son transportados por el aire provocando reacciones alérgicas en individuos susceptibles previamente sensibilizados. La contaminación ambiental y las altas concentraciones de polen en el ambiente influyen en el origen y evolución de las enfermedades alérgicas. Investigaciones realizadas han concluido que el polen del mezquite tiene al menos 13 fracciones alergénicas diferentes, que provocan padecimientos como la polinosis (alergia al polen), conjuntivitis, asma y rinitis (alergia respiratoria), las cuales han ido en aumento y ocasionan en los pacientes síntomas como estornudos intermitentes, secreción, congestión y picazón nasal. Además, pueden ser un factor de riesgo en padecimientos como el asma. Dependiendo del sistema inmunológico de las personas los síntomas alérgicos pueden ser leves o llegar a ser extremos provocando anafilaxia (Killian & McMichael, 2004; Zhao et al., 2023).

Este incremento en las alergias al polen está relacionado con las variaciones en el ambiente a causa

del cambio climático y el calentamiento global, que han provocado un aumento en la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, generando: Aumento y aceleración en el crecimiento de las plantas, mayor intensidad en la floración, mayor duración de la floración y por tanto una producción de polen más prolongada y aumento en la potencia de alérgenos del polen (González-Díaz et al., 2022; Simunovic et al., 2020).

Existen estudios sobre la sensibilización alérgica al polen en la población de Hermosillo, Sonora; catalogada como una de las ciudades con la mayor incidencia de enfermedades respiratorias (asma y alergias) en el estado. Reportes recientes de niños atendidos en el Hospital Infantil del Estado de Sonora, mostraron una alta frecuencia de niños alérgicos al polen, el 69 % eran asmáticos y el 14 % presentaron rinitis alérgica (López-Romero et al., 2017).

En México, la prevalencia de alergias respiratorias por el polen del mezquite es de 21% (Larenas-Linnemann et al., 2014). Por ello, es recomendable aplicar algunas medidas que podrían ayudar un poco a reducir este padecimiento en la población. Una de ellas puede ser el plantar árboles con poco efecto alérgico en los hogares y avenidas de la ciudad. Reducir las actividades al aire libre los días que se registren altos niveles de contaminación o viento en exceso, esto ayudaría a las personas susceptibles a disminuir el contacto con los alérgenos ambientales.

En conclusión, aun cuando el mezquite (*Prosopis* spp) se considera una fuente significativa de alérgenos y su polen puede afectar la salud de la población susceptible, es una planta con atributos importantes como recurso biótico y representa un recurso que es muy útil en beneficio de la población, principalmente en las comunidades rurales, donde es utilizado para la recuperación de suelos en zonas áridas y semiáridas al prevenir la desertificación, como forraje, en la producción de carbón, es además excelente como leña y es una fuente de recursos madereros para la construcción y la fabricación de muebles, puertas, ventanas, pisos, objetos decorativos y artesanías. Sin dejar de lado la importancia del mezquite en la industria alimenticia para la elaboración alimento balanceado para animales, así como la goma, harina y miel que son utilizados como ingrediente para la elaboración de distintos productos tradicionales con un buen aporte nutricional.

## Referencias

- Batista-Roche, L.G. & Huerta-Ocampo, J.A. (2021). Mezquite: una planta alérgica de relevancia clínica en México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-15. DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2021.390.
- Bhatta, R., Vaithyanathan, S., Singh, N.P., & Verma, D.L. (2007) Effect of feeding complete diets containing graded levels of *Prosopis cineraria* leaves on feed intake, nutrient utilization and rumen fermentation in lambs and kids. *Small Ruminant Research*. 67, 75-83. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.09.027.
- Beristain, C.I., Azuara, E., García, H.S., & Vernon-Carter, E.J. (1996) Kinetic model for water/oil absorption of mesquite gum (*Prosopis juliflora*) and gum Arabic (*Acacia senegal*). *International Journal of Food Science. Technology*, 31, 379-386. DOI: 10.1046/j.1365-2621.1996.00353.x.
- Bose, S., Pratim, P.D., Banerjee, S., & Chakraborty, P. (2023). A comprehensive review on natural products caused allergy and its mechanism. *Journal of Herbal Medicine*, 42, 100778. DOI: 10.1016/j.hermed.2023.100778.
- Cardozo, M.L., Ordoñez, R.M., Zampini, I.C., Cuello, A.S., Dibenedetto, G., & Isla, M.I. (2010). Evaluation of antioxidant capacity, genotoxicity and polyphenol content of non-conventional foods: *Prosopis* flour. *Food Research International*. 43, 1505-1510. doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.004.
- Díaz-Batalla, L., Hernández-Urbe, J.P., Gutiérrez-Dorado, R., Téllez-Jurado, A., Javier Castro-Rosas, J., et al. (2018). Nutritional characterization of *Prosopis laevigata* legume tree (Mesquite) seed flour and the effect of extrusion cooking on its bioactive components. *Foods*, 7, 124. DOI:10.3390/foods7080124.
- Golubov, J., Mandujano, M., & Eguiarte, L.E. (2001) The paradox of mesquites (*Prosopis* spp): Invading species of biodiversity enhancers? *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 69, 21-28. Chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclcfndmkaj/
- Gonzales-Barron, U., Dijkshoorn, R., Maloncy, M., Finimundy, T., Calhelha, R.C., et al. (2020). Nutritive and bioactive properties of mesquite (*Prosopis pallida*) flour and its technological performance in breadmaking. *Foods*, 9, 597.

- DOI: 10.3390/foods9050597.
- González-Díaz, S.N., de Lira-Quezada, C.E., Villarreal-González, R.V., & Canseco-Villarreal, J.I. (2022). Contaminación ambiental y alergia. *Revista Alergia México*, 69(Supl1), s24-s30. doi: DOI: 10.29262/ram.v69iSupl1.1010.
- Gonzalez-Macedo, M., Cabirol, N., & Rojas-Oropeza, M. (2021). Assessment of the ancestral use of garlic (*Allium sativum*) and nettle (*Urtica dioica*) as botanical insecticides in the protection of mesquite (*Prosopis laevigata*) seeds against bruchins. *Journal of Plant Protection Research*, 61(2), 170-175.  
DOI: 10.24425/jppr.2021.137023.
- Greenwood, C. & Morey, P. (1979) Gummosis in honey mesquite. *Botanical Bazzette*, 141, 32-38.  
DOI: 10.1086/337055.
- Henciya, S., Seturaman, P., James, A.R., Tsai, Y.H., Nikam, R., et al. (2017). Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (Mimosaceae, Leguminosae). *Journal of Food Science*, 25(1), 187-196.  
DOI: 10.1016/j.jfda.2016.11.001.
- Hussain, M.I., Shackleton, R.T., El-Keblawy, A., Del Mar Trigo Pérez, M., & González, L. (2020). Invasive Mesquite (*Prosopis juliflora*), an Allergy and Health Challenge. *Plants*, 9, 141.  
DOI: 10.3390/plants9020141.
- Killian, S. & McMichael, J. (2004). The human allergens of mesquite (*Prosopis juliflora*). *Clinical and Molecular Allergy*, 2(1), 1-5.  
DOI: 10.1186/1476-7961-2-8.
- Larenas-Linnemann, D., Michels, A., Dinger, H., Shah-Hosseini, K., Mösges, R., et al. (2014). Allergen sensitization linked to climate and age, not to intermittent-persistent rhinitis in a cross-sectional cohort study in the (sub) tropics. *Clinical and Translational Allergy*, 4(1), 20.  
DOI: 10.1186/2045-7022-4-20.
- López-Franco, Y.L., Goycoolea, F.M., Valdez, M.A., & Calderón de la Barca, C.A.M. (2006). Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, 31(3), 183-189.
- López-Romero, C., Huerta-Romero, J., & Frías-Mendivil, M. (2017). Sensibilización a alérgenos en pacientes pediátricos mayores de 2 años en el Hospital Infantil del Estado de Sonora. *Boletín Clínico Hospital Infantil del Estado de Sonora*, 34(2), 90–96.  
DOI: 10.1111/j.1398-9995.2011.02728.x.
- Luna, A. A. G., Martínez, H.R.E., & Alemán, H.M.E. (2022). El mezquite: “Un superalimento ancestral”. *Revista Ciencia UANL*, 25(115), 20-29.
- Maciel de Melo, C.A., Maciel de Melo, A., Ferreira da Silva, A.V., da Silva, N.G.J., Turolo, B.R.C., et al. (2022). Mesquite (*Prosopis juliflora*) grain flour: New ingredient with bioactive, nutritional and physical-chemical properties for food applications. *Future Foods*, 5 (100114), 1-9.  
DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100114.
- Meraz, V.S., Orozco, V.J., Lechuga, C. J.Á., Cruz, S.F., & Vernon, C.J. (1998). El mezquite, un árbol de gran utilidad. *Revista Ciencias*, 51, 20-21.
- Montañez-Valdez, O.D., Reyes-Gutiérrez, J.A., Ley-de Coss, A., Vicente-Pérez, R., Gomez-Vázquez, A., & Guerra-Medina, C.E. (2021). Composición de vainas de mezquite (*Prosopis* spp.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2, e2857.  
DOI: 10.19136/era.a8nll.2857.
- Mudgil, D. & Barak, S. (2020). Mesquite gum (*Prosopisgum*): Structure, properties & applications. A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 159, 1094-1102.  
DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.153.
- Pérez-Serrano, D., Cabirol, N., Martínez-Cervantes, C., & Rojas-Oropeza, M. (2021). Mesquite management in the Mezquital Valley: A sustainability assessment based on the view point of the Hñähñú indigenous community. *Environmental and Sustainability Indicators*. 10,100113.  
DOI: 10.1016/j.indic.2021.100113.
- Ríos, S.J.C., Martínez, S.M., & Mojica, G.A.S. (2013). Caracterización ecológica y socioeconómica del mezquite (*Prosopis* spp.). *Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México*. Ed. Martínez S. Aldama, Chihuahua, México: Sitio Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. p. 42-68.
- Shackleton, R.T., Le Maitre, D. C., Pasiecznik, N.M., & Richardson, D.M. (2014). *Prosopis*: A global assessment of the biogeography, benefits, impacts and management of one of the world's worst woody invasive plant taxa. *AoB Plants*, 6, 1-18.  
DOI:10.1093/aobpla/plu027.
- Sharifi-Rad, J., Kobarfard, F., Ata, A., Ayatollahi, S.A., Khosravi-Dehaghi, N., et al. (2019). *Prosopis*

- plant chemical composition and pharmacological attributes: Targeting clinical studies from preclinical evidence. *Biomolecules*, 9(777), 2-46. DOI: 10.3390/biom9120777.
- Simunovic, M., Dwarakanath, D., Addison-Smith, B., Susanto, N.H., Erbas, B., et al. (2020). Grass pollen as a trigger of emergency department presentations and hospital admissions for respiratory conditions in the subtropics: A systematic review. *Environmental Research*, 182, 109125. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109125.
- Valencia, D., Rueda, P.E.O., Leyva, P.M.A., Mazón-López, S.R., & Ortega-García, J. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en aceite de semilla de Mezquite (*Prosopis* spp). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(1), 50-59. DOI: 10.37527.2020.70.1.006.
- Weber, R.W. (2007). On the cover. Mesquite. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 98(4), A4. DOI: 10.1016/S1081-1206(10)60874-5.
- Zhao, Y., Sun, Z., Xiang, L., An, X., Hou, X., et al. (2023). Effects of pollen concentration on allergic rhinitis in children: A retrospective study from Beijing, a Chinese megacity. *Environmental Research*, 229, 115903. DOI:10.1016/j.envres.2023.115903.