



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

VOLUMEN XV | NÚMERO 2 | PUBLICACIÓN CONTINUA 2021

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología

Indizada en



latindex





Directorio Institucional

M.E. Luis Alberto Fierro Ramírez

Rector

M.A.V. Raúl Sánchez Trillo

Secretario General

M.E.A. Alfredo Ramón Urbina Valenzuela

Director de Investigación y Posgrado

M.A. Herik Germán Valles Baca

Director Académico

M.L. Ramón Gerónimo Olvera Néder

Director de Extensión y Difusión Cultural

M.C. Francisco Márquez Salcido

Director Administrativo

M.I. Ricardo Ramón Torres Knight

Director de Planeación y Desarrollo Institucional



TECNOCENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología

Equipo Editorial

Editor responsable

Dr. Armando Quintero Ramos, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNI III)

Asistente editorial

M.E.S. Nancy Karina Venegas Hernández, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Co-editores

Dr. Rubén Francisco González Laredo, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México. (SNI III)

Dr. Javier Tarango Ortiz, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNI II)

ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

Dr. Benjamín Ramírez Wong

Dr. José Alberto Gallegos Infante

Dr. José Rafael Minjares-Fuentes

Dra. María Marcela Rodríguez

Dra. Valeria Soledad Eim Iznardo

Efrén Delgado, Ph.D.

Dra. Elizabeth Carvajal Millán

Dr. Fernando Martínez Bustos

Dr. León Raúl Hernández Ochoa

Dr. José de Jesús Zazueta Morales

Dr. Diego Bautista Genovese

Dra. Aracely Ochoa Martínez

Dra. Deborah Murowaniecki Otero

Dr. René Renato Balandrán Quintana

Nancy Flores Ph.D.

Universidad de Sonora

Instituto Tecnológico de Durango

Universidad Juárez del Estado de Durango

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Universidad de las Islas Baleares, Islas Baleares, España

New Mexico State University, Las Cruces, NM USA

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

CINVESTAV, Unidad Querétaro

UACH

Universidad Autónoma de Sinaloa

Planta Piloto de Ingeniería Química-CONICET, Bahía Blanca Argentina

Instituto Tecnológico de Durango

Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahía, Brasil.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

New Mexico State University, Las Cruces, NM USA

AGRICULTURA Y AGROPECUARIA

Dr. Gerardo Méndez Zamora

Dr. Iván Adrián García Galicia

Dr. Guillermo Fuentes Dávila

Dr. Víctor Arturo González Hernández

Dra. Yolanda Salinas Moreno

Dr. Concepción Luján Álvarez

Dra. Daniela D. Herrera Balandrano

Universidad Autónoma de Nuevo León

UACH

INIFAP

Colegio de Posgraduados

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

UACH

Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, China

QUÍMICA Y BIOLOGÍA

Dr. Eleuterio Burgueño Tapia

Dra. Luz Estela González de Bashan

Dra. Blanca Gladiana Beltrán Piña

Nadezhda Traycheva Petkova, Ph.D.

Dr. Ricardo Vázquez Juárez

Dra. Carmen Oralia Meléndez Pizarro

Dr. Alejandro A. Camacho-Dávila

Dr. David Morales Morales

Prasenjit Ghosh, Ph.D.

Dr. René Rojas Guerrero

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

UACH

Department of Organic Chemistry and Inorganic Chemistry, Bulgaria.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

UACH

UACH

Universidad Nacional Autónoma de México

Indian Institute of Technology Bombay, India

Pontificia Universidad Católica de Chile

SALUD Y CULTURA FÍSICA

Dr. Julio Cesar Guedea Delgado

Dr. Julián Esparza Romero

Dra. Carolina Jiménez Lira

Dra. Irene Leal Solís

Dra. Jazmín Leticia Tobías Espinoza

Dr. Arnulfo Ramos Jiménez

Dra. Silvia Giono Cerezo

UACH

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C

UACH

UACH

UACH

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto Politécnico Nacional

INGENIERÍA Y RECURSOS NATURALES

Dr. Francisco Paraguay Delgado

Dr. Vladimir Villarreal Contreras

Dr. Jesús Darío Landa Silva

Dr. Aldo Jonathan Muñoz Vázquez

Dr. Humberto González Rodríguez

Centro de Investigación en Materiales Avanzados

Universidad Tecnológica de Panamá

School of Computer Science, University of Nottingham, UK

Texas A&M University, College Station, USA

Universidad Autónoma de Nuevo León

Dra. Mélida Gutiérrez

Missouri State University, USA

Dr. Luis Fernando Gaxiola Orduño

UACH

Dr. Roberto Narro García

UACH

TECNOLOGÍA

M.C. Ricardo Talamás Abbud

UACH

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. (Vol. 15 Núm. 2 Mayo-Agosto, 2021) Es una publicación continua, editada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua. (C. Escorza núm. 900, Col. Centro, Chihuahua, Chihuahua, México. C.P. 31000, <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia>, tecnociencia.chihuahua@uach.mx) Editor responsable: Armando Quintero Ramos. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2018-070312595700-203, ISSN 1870-6606, ISSN-e: En trámite otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dirección de Investigación y Posgrado.

Fecha de la última modificación: agosto de 2021. Teléfono: (614) 4 39 18 22. Ext. 2222



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

CONTENIDO

Definición de la revista 6

Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

Evolución piezométrica del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (0812) en la cuenca baja del río Casas Grandes, Ascensión, Chihuahua, México e 802

Piezometric evolution of the Palomas-Guadalupe Victoria aquifer in the Lower Basin of the Casas Grandes River, Ascension, Chihuahua, Mexico

Carlo Iván Romero Gameros, Alfredo Granados Olivás, Oscar Fidencio Ibáñez Hernández, Manuel Herrera Mercado

Recursos Naturales

Arsénico y flúor en agua subterránea de Chihuahua: su origen, enriquecimiento, y tratamientos posibles e 828

Arsenic and fluoride in groundwater from Chihuahua: origin, enrichment, and possible treatments

Mélida Gutiérrez, María Socorro Espino-Valdés, María Teresa Alarcón-Herrera, Adán Pinales-Munguía, Humberto Silva-Hidalgo

Salud

Sistema de análisis de enfermedades crónicas no transmisibles y sus factores de riesgo e 826

System for the analysis of chronic non-communicable diseases and their risk factors

Jeremy Quiroz, Vladimir Villarreal, Mel Nielsen, Lilia Muñoz

Alimentos

Relación entre probióticos - postbióticos y sus principales efectos bioactivos e 836

Relationship between probiotics - postbiotics and their main bioactive effects

Norma Angélica Bolívar-Jacobo, Raúl Alberto Reyes-Villagrana, América Chávez-Martínez

Tecnologías emergentes no térmicas para la conservación de carne fresca y productos cárnicos e 829

Non-thermal methods for the preservation of fresh meat and meat products

Sergio Díaz-Almanza, Alma Delia Alarcón-Rojo, Iván Adrián García-Galicia

El Científico frente a la Sociedad

Influencia idiomática en la producción científica de investigadores mexicanos e 837

Idiomatic influence on the scientific production of Mexican researchers

Javier Tarango, Fidel Gonzalez-Quñones

DEFINICIÓN DE LA REVISTA

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, es una revista multidisciplinaria, de publicación continua, que publica artículos y notas científicas, así como artículos de revisión *por invitación* originales e inéditos, en español e inglés, en formato electrónico de acceso abierto.

El objetivo de TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es divulgar los resultados y avances de investigación originales e inéditas en las áreas temáticas de Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales, dirigidos a investigadores, académicos, estudiantes y público con interés científico.

El contenido científico y calidad de los artículos son evaluados a través de un proceso de arbitraje de forma anónima en la modalidad de doble ciego por al menos dos árbitros especializados en la materia.

La revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es editada y financiada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua, México. La revista está adherida a la Declaración de San Francisco a través de DORA (Declaration on Research Assessment) se encuentra indexada en índices y portales especializados como Latindex, Periódica. La revista cuenta con el DOI (Digital Object Identifier) a través de la organización internacional Crossref.

Artículo Científico

Evolución piezométrica del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria en la cuenca baja del río Casas Grandes, Ascensión, Chihuahua, México

Piezometric evolution of the Palomas-Guadalupe Victoria aquifer in the Lower Basin of the Casas Grandes River, Ascension, Chihuahua, Mexico

Carlo I. Romero-Gameros^{1*}, Alfredo Granados-Olivas¹, Óscar F. Ibáñez-Hernández^{1,3} y J. M. Herrera-Mercado²

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Avenida Del Charro #450 Norte. Ciudad Juárez, Chihuahua. México. 32315. Tel. (656) 688-2100

²Junta Municipal de Agua y Saneamiento. Calle Pedro N. García #2231 Col. Partido Romero C.P. 32030, Cd. Juárez, Chih. Tel. (656) 686 00 73

³Junta Central de Agua y Saneamiento. Av. Prol. Teófilo Borunda 500, Centro, 31000 Chihuahua, Chih. | (614) 439 35002

*Correspondencia: Correo Electrónico carloromero@gmail.com (Carlo I. Romero-Gameros)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.802>

Recibido: 23 de abril de 2021; Aceptado: 27 de agosto de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El agua subterránea es el recurso hídrico de principal uso en las regiones áridas y semiáridas del México abasteciendo a las comunidades, industrias y agricultura. El uso intensivo del agua subterránea, aunado con las condiciones áridas y semiáridas del norte de México influyen en el descenso de los niveles estáticos de los acuíferos. La aplicación de piezometría digital facilita la generación de datos de calidad a través del tiempo que pueden ser usados para el monitoreo de la evolución temporal en estudios geohidrológicos. En el presente estudio, se realizó la instalación de cinco piezómetros digitales a lo largo de la cuenca baja del Río Casas Grandes (CBRCG) con el fin de monitorear continuamente la evolución temporal de los niveles estáticos del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (0812) realizando la modelación de las redes de flujos y líneas equipotenciales dentro del área. Los resultados demuestran abatimientos puntuales de los niveles estáticos hasta de 3 m en un periodo de 10 años. Adicionalmente, se observó un sostenimiento de los niveles estáticos e incluso recuperación de estos en otras áreas de la cuenca comprobando diversos ambientes geohidrológicos en la zona. El estudio demuestra la necesidad de ampliar el monitoreo por piezometría digital generando una representación continua de la evolución piezométrica del

acuífero, dando así lugar al uso sustentable del agua subterránea en la cuenca, así como la determinación de zonas vulnerables y puntos potenciales de recarga del acuífero.

Palabras clave: abatimiento, acuífero, nivel estático, piezometría digital, sobreexplotación.

Abstract

Groundwater is the only resource for the arid and semi-arid regions in northern Mexico supplying different users such as domestic, industry and agriculture. The intensive use of groundwater resources along with the arid conditions of the region affects depletion on static water levels of aquifers. The application of digital piezometry allows the generation of quality data thru extended periods of time for geohydrological studies. This research focused on the installation and calibration of five digital piezometers to monitor the evolution of static water levels in the Palomas-Guadalupe Victoria aquifer (0812) located at the Lower Casas Grandes River Basin in Northern Chihuahua, Mexico. Real time modeling of aquifer equipotential lines and groundwater flow direction produced by the overexploitation of agricultural wells located in the basin was carried out. Results show variable drawdowns of the static water levels up to 3 m in a 10-year period; furthermore, groundwater levels at some sites in the aquifer do not show any depletion at all demonstrating a recovered groundwater level in some areas of the watershed, which could be related to diverse geohydrological settings. The study demonstrates the need to expand digital piezometric monitoring to improve the research on groundwater evolution of the aquifer, generating a sustainable management of groundwater resource of the basin, as well as the determination of vulnerable and potential recharge zones.

Keywords: drawdown, aquifer, static water level, digital piezometers, overexploitation.

1. Introducción

El agua subterránea representa la mayor fuente de agua dulce disponible en el planeta, la cual es utilizada para el consumo de más de la mitad de la población (Castro Condori, 2017). En México, este recurso es utilizado para satisfacer la demanda de agua proveniente del sector industrial y un 65% del volumen de agua que es requerido para abastecer las ciudades, además de ser la principal fuente de abastecimiento de dos millones de hectáreas para la agricultura (Chávez *et al.*, 2006; CONAGUA, 2014). El estado de Chihuahua está sometido a una serie de factores que lo hacen propenso a la sobreexplotación de sus acuíferos tales como su ubicación geográfica, áreas de alto crecimiento demográfico, geología, extracciones para irrigación de cultivos, sequía y aumento de temperatura ambiente (Gutiérrez *et al.*, 2016). Por otro lado, la explotación desordenada de las aguas subterráneas plantea problemas en el ámbito ambiental, social, económico, administrativo y legal, siendo una de las principales problemáticas el descenso de los niveles piezométricos dentro de las diversas cuencas del estado de Chihuahua (Pulido Bosch, 2000).

De los 653 acuíferos definidos en el país, 61 pertenecen al estado de Chihuahua de los cuales 30 están catalogados como sobreexplotados (Gobierno del estado de Chihuahua, 2019; Arreguin *et al.*, 2010). En lo que refiere al área de estudio, el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (0812) es el suministro principal de agua potable para la población en la cuenca baja del Río Casas Grandes (CBRCG) además de ser utilizado primordialmente para irrigación de cultivos, tales como chile,

nogal y alfalfa (CONAGUA, 2018; INEGI, 2003). El clima de la zona corresponde al tipo BWk(x'), clima muy árido, templado, siendo sus características generales una temperatura media anual de 17.7 °C, temperatura mínima anual de 9 °C, temperatura máxima anual de 26.4 °C, presentando lluvias repartidas durante todo el año con un promedio de 175.8 mm con mayor presencia durante los meses de julio y agosto (Servicio Meteorológico Nacional, 2010; CONAGUA, 2018).

El acuífero está situado en un contexto geológico volcánico principalmente, donde se presentan rocas ígneas intrusivas y extrusivas expuestas con composición variante y por orden de abundancia basálticas, andesíticas a riolíticas. Debido a la erosión, en las zonas de bajo terreno, se presentan condiciones sujetas a inundaciones, y se encuentran depósitos sedimentarios compuestos por limos, arenas y gravas con presencia de arcillas (CONAGUA, 2018). Una de las principales fuentes de recarga del acuífero está ubicada en los abanicos aluviales de las sierras que se localizan en la cuenca baja del Río Casas Grandes (Fig. 1), en donde estas regiones geomorfológicas están delimitadas por la sierra de las Coloradas al norte y noroeste, Sierra de Boca Grande al suroeste, sierras Las Lilas y El Cartucho al sur y Montañas el Camello hacia el este (Ramírez-Villazana *et al.*, 2016).

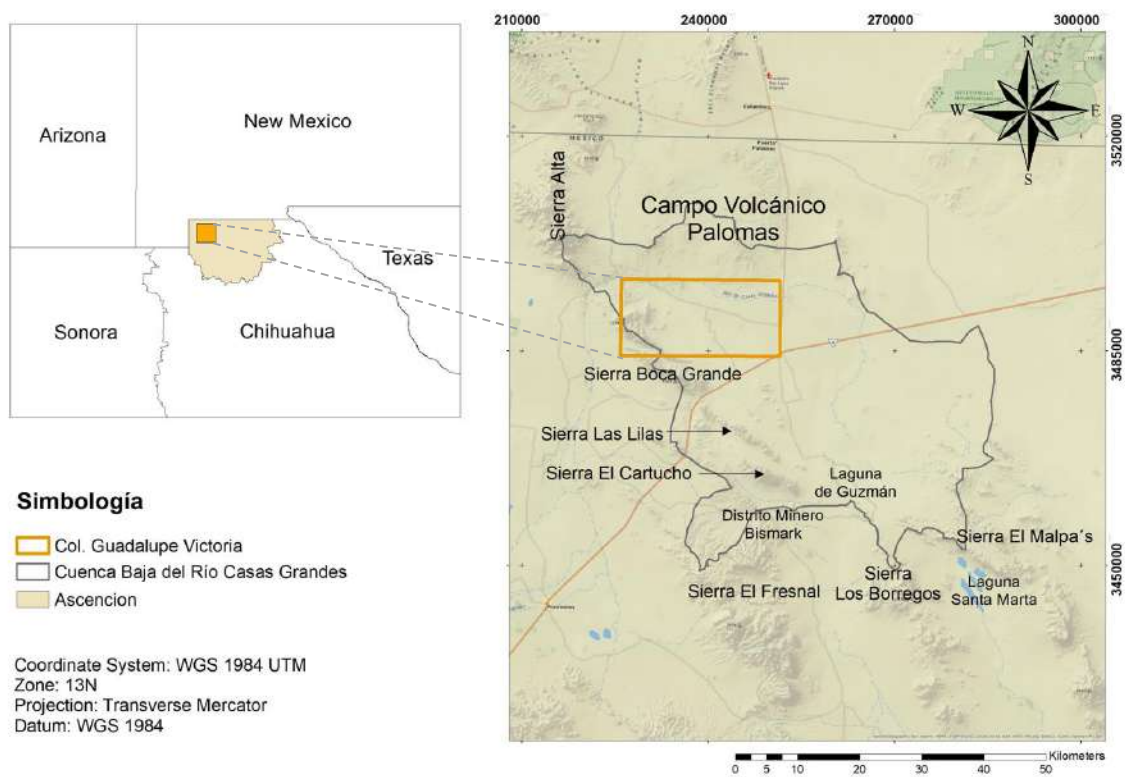


Figura 1. Ubicación de la cuenca baja del Río Casas Grandes.
Figure 1. Location of the Lower Basin of the Casas Grandes River.

La realización de estudios por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como parte del análisis de disponibilidad del acuífero se ha realizado tomando en cuenta datos de 1991 y 2005

aunado a la actualización geohidrológica realizada por la Universidad Autónoma de Chihuahua en 2009 en la que se obtuvo la evolución de los niveles piezométricos del acuífero (CONAGUA, 2018). Posteriormente, la evolución piezométrica del acuífero fue tomada como objeto de estudio en diversas investigaciones proyectando la evolución temporal de la cuenca baja del Río Casas Grandes (Romero 2018, Armendáriz 2013 y Martínez 2010). La disponibilidad de agua subterránea en el estado de Chihuahua está comprometida y ha entrado en crisis durante los últimos años debido a factores antropogénicos y naturales (Reyes Cortés *et al.*, 2009). Por lo tanto, la actualización de información por medio de piezometría digital u otros métodos es esencial para generar una representación actual del comportamiento del acuífero para de esta forma llevar a cabo planes de gestión y sustentabilidad hídrica con respecto al uso del recurso en la cuenca.

El principal objetivo del estudio se centró en analizar la evolución temporal de la piezometría del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (0821), durante el periodo 2010-2020. Para ello, se realizó la instalación y calibración de cinco piezómetros digitales en la infraestructura hidroagícola de la cuenca baja del Río Casas Grandes, para incrementar la recopilación de información y la continuidad de recolección de datos, lo que permitirá una mejora hidrogeológica a futuro.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

El análisis de evolución temporal fue realizado a partir de la instalación de cuatro piezómetros digitales del tipo Cera Diver (Fig. 2), diseñados para acuíferos con propiedades salinas o ambientes agresivos de calidad química del agua subterránea, con una capacidad de almacenaje superior a las 48000 lecturas, y uno del tipo Baro Diver, el cual monitorea a tiempo real la presión atmosférica, utilizado para la medición niveles someros de agua y medir presión hidrostática equivalente del agua sobre el diafragma del sensor para el cálculo de la profundidad total del agua, con un periodo de vida de 10 años (VanEssen, 2020). Estos son diseñados para la obtención de información de temperatura de agua, presión barométrica y nivel piezométrico dentro del pozo (Romero-Gameros, 2018) generando datos de alta calidad y confiabilidad con una precisión de $\pm 0.05\%$ a escala completa (VanEssen, 2020). Además, su calibración permite el monitoreo del acuífero a una temporalidad deseada por el usuario. Estos piezómetros fueron complementados por dos unidades instaladas en estudios previos para ampliar la recolección de información.



Figura 2. Piezómetro digital CeraDiver (VanEssen, 2020).

Figure 2. CeraDiver digital piezometer (VanEssen, 2020).

2.2 Localización de pozos e instalación de piezómetros

Previo a su instalación, fueron seleccionados cinco distintos pozos de monitoreo a lo largo de la cuenca con el fin de abarcar la mayor área posible del acuífero teniendo en cuenta el permiso por parte del propietario del pozo, que este no contara con infraestructura de bombeo, su accesibilidad y la existencia de un nivel sobre el espejo del agua menor a los 50 m debido al cable disponible para su instalación. Los piezómetros Cera-Diver fueron calibrados con datos de niveles estáticos referentes a cada pozo, obtenidos por medio de una sonda de arco eléctrico (Fig. 3). Se tomó en cuenta una temporalidad de registro automatizado en el piezómetro digital de cuatro días, con una toma de datos continua hasta la interrupción por parte del usuario, la longitud del cable utilizado, la presión barométrica y la fecha de inicio programada para captura. Con respecto al piezómetro Baro-Diver, se realizó la calibración para captura de datos con una temporalidad de 12 h.



Figura 3. Sonda de arco eléctrico Solinst Model 102.

Figure 3. Solinst Model 102 electric arc probe.

Para su instalación, se requirió la fabricación de puentes estabilizadores (Fig. 4) diseñados con respecto a las medidas del ademe de cada pozo utilizados como sostén tanto del cable de acero como del piezómetro digital, colocados y reforzados en la infraestructura del pozo (Fig. 5) con el fin de que no pudieran ser removidos ni alterados por las condiciones meteorológicas del área de estudio, así como por actos vandálicos.

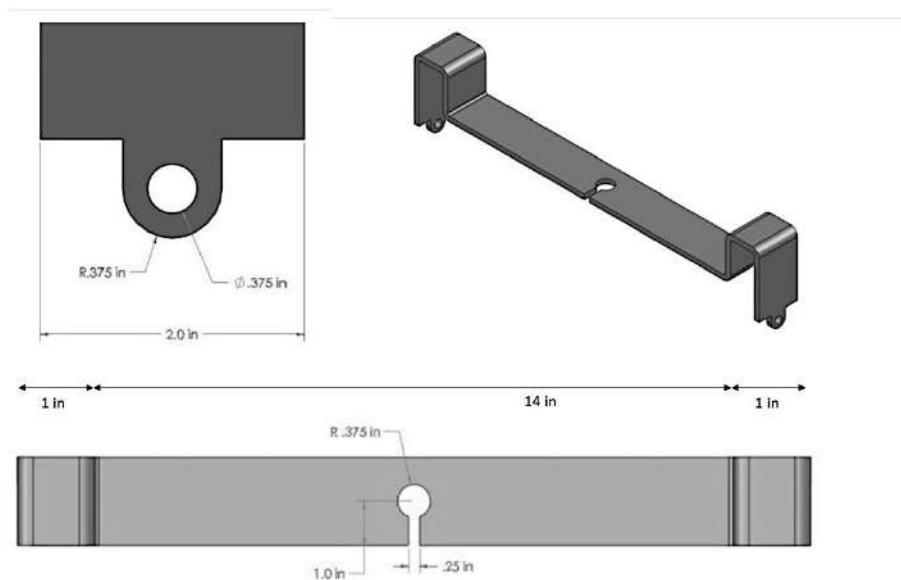


Figura 4. Puentes estabilizadores (Martínez, 2010).
Figure 4. Stabilizing bridges (Martínez, 2010).



Figura 5. Instalación de piezómetros digitales sobre la infraestructura del pozo (Romero-Gameros, 2018).
Figure 5. Installation of digital piezometers over well infrastructure (Romero-Gameros, 2018).

2.3 Colección de datos

Una vez instalados los piezómetros, se procedió a la captura de datos con una temporalidad de cuatro días, proceso que comenzó automáticamente según la programación del equipo. Dichos datos se compensaron barométricamente para la obtención del nivel piezométrico a partir de una interpolación lineal para los valores de presión atmosférica. Dentro de esta, el piezómetro mide el nivel del agua subterránea mediante un sensor de presión de precisión alta capturando datos de la presión absoluta. Dicha presión es igual al peso de la columna de agua encima del piezómetro más la presión del aire que predomina. Restando las mediciones de presión atmosférica de la medición de la presión absoluta son compensadas las variaciones de presiones. La compensación barométrica fue realizada a través del software Diver Office, utilizando datos del piezómetro Baro-Diver instalado dentro de uno de los pozos seleccionados, la cual se calcula con la Ec. (1):

$$WC = 9806.65 \left(\frac{P_{diver} - P_{baro}}{\rho * g} \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde WC es la carga de la columna de agua sobre el piezómetro, P_{diver} el dato de presión obtenido del piezómetro, P_{baro} el dato de presión proporcionado por el barómetro, ρ la densidad del agua (1000 kg/m^3) y g la fuerza de aceleración debido a la gravedad. A su vez, el sistema realiza el cálculo del nivel piezométrico a través de la Ec. (2):

$$WL = TOC - CL + WC \quad \text{Ec. (2)}$$

Siendo TOC la altura sobre el nivel del mar obtenido con GPS en metros, CL la longitud del cable utilizado en la instalación del piezómetro digital y WL el cálculo del nivel piezométrico del pozo. El nivel estático se obtiene a través de la sustitución de (1) en (2) dando la Ec. (3):

$$WL = TOC - CL + 9806.65((P_{diver} - P_{baro})/(\rho * g)) \quad \text{Ec. (3)}$$

Una vez procesados los niveles estáticos obtenidos por los piezómetros digitales, se realizó la comparación de evolución temporal de los niveles estáticos medidos a través de una sonda de arco eléctrico por Martínez (2010), Armendáriz (2013) y Romero (2018), complementado por el análisis de los equipos y la recolección de datos durante el año 2020.

2.4 Análisis de datos

Los datos de evolución se utilizaron para resaltar los abatimientos generados dentro de la zona de estudio utilizando la interpolación de Kriging dentro del software ArcGIS, aplicando un modelo de semivariograma circular para generar una superficie estimada de curvas equipotenciales. Para esto, se tomó en cuenta un conjunto de datos de elevación referidos a los niveles estáticos en el acuífero. Dicha interpolación se basa en modelos estadísticos, donde se incluyen relaciones estadísticas entre los puntos medidos, asumiendo la posibilidad de modelar cierta parte de una variación espacial definida a partir de procesos aleatorios con autocorrelación espacial. Este método se basa en un análisis estadístico exploratorio de datos, el modelado de variogramas, la

creación de una superficie y la exploración de la superficie de varianza (ESRI, 2016). El modelado de variogramas se definió a partir de un modelo circular dentro del software dando paso a la predicción y creación de superficies. Para esto, los valores medidos circundantes se ponderan calculando una predicción de ubicación sin mediciones a partir de la Ec. (4):

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad \text{Ec. (4)}$$

Siendo $Z(s_i)$ el valor medido en una ubicación i ; λ_i una ponderación desconocida asignada al valor medido en la ubicación i ; s_0 la ubicación de la predicción y N la cantidad de valores medidos (ESRI, 2016).

3. Resultados y discusión

La evolución temporal de los niveles estáticos fue obtenida a partir de los cinco piezómetros instalados a lo largo de la Colonia Guadalupe Victoria en la cuenca baja del Río Casas Grandes.

Los datos obtenidos por el barómetro instalado en el pozo "Rancho El Milagro" (Fig. 6) denotan una fluctuación de presiones entre 886 a 911 cmH₂O aproximadamente, lo que representa la carga ejercida por la columna de agua sobre el piezómetro. Las temperaturas capturadas demuestran fluctuaciones entre los 0 y 28 °C durante el periodo de toma de datos. Cabe señalar que los datos de temperatura obtenidos varían conforme a las estaciones del año, representando las temperaturas menores a las temporadas gélidas, demostrando de igual manera las variaciones que existen de temperatura durante el día y la noche. Sin embargo, la profundidad de la ubicación de la sonda refleja la posibilidad de una temperatura relacionada al promedio en las diversas zonas del acuífero lo que pudiera ser también referente para medir otros parámetros geohidrológicos tales como la recarga.

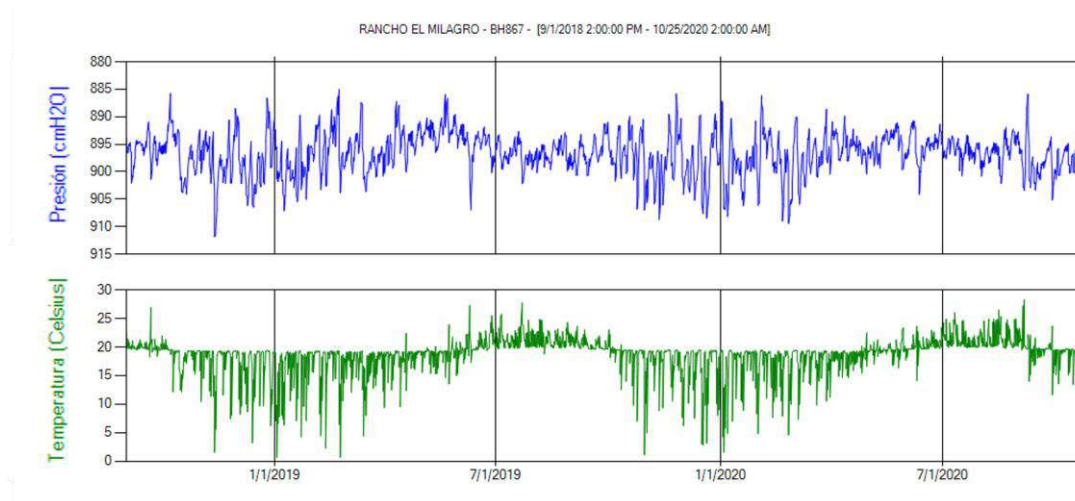


Figura 6. Evolución temporal de presión y temperatura capturadas por el Baro-Diver de agosto 2018 a octubre del 2020.

Figure 6. Time evolution of pressure and temperature captured by the Baro-Diver from August 2018 to October 2020.

El peso ejercido por la presión barométrica es aproximadamente igual a 10 m de la columna de agua. Dicha presión no es estable en el tiempo, pero presenta fluctuaciones de hasta 1 metro de columna de agua. En caso de no ser compensados los datos obtenidos por los piezómetros digitales, existe una estática de error de 10 m y una dinámica de error de 1 metro, por esto la importancia de la instalación del piezómetro Baro-Diver para la realización de la compensación barométrica en el resto de los piezómetros instalados.

El piezómetro instalado en el “Rancho Viejo”, una vez aplicada la compensación barométrica a los datos, demuestra una fluctuación del nivel estático dentro de los 11.05 y 11.65 m, con el descenso más notorio del nivel estático durante julio del 2020. La temperatura del agua dentro del pozo oscila entre los 20.96 y 21.21 °C en el periodo 2018-2019, manteniendo una fluctuación constante a partir de los siguientes meses de la toma de datos. Esta fluctuación se ve influida por los cambios en las estaciones del año, mostrando que el dato de temperatura más bajo fue tomado durante el mes de diciembre. Así mismo, la temperatura incrementa conforme los datos se aproximan a épocas más cálidas (Fig. 7). Cabe señalar que los picos más altos visibles dentro de la evolución temporal de los niveles estáticos representan el descenso de los niveles en el pozo siendo calculados a partir de la presión ejercida por la columna de agua dentro del piezómetro precedido de la compensación barométrica expuesto anteriormente.

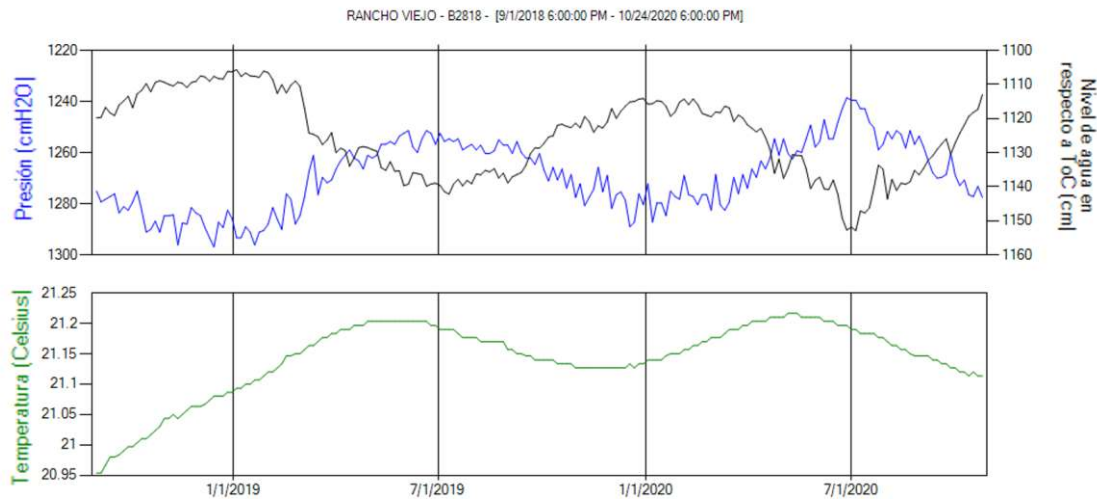


Figura 7. Evolución de presión, temperatura y nivel estático en el pozo “Rancho Viejo” capturada por piezometría digital de septiembre 2018 a octubre 2020.

Figure 7. Evolution of pressure, temperature and static level in the “Rancho Viejo” well captured by digital piezometry from September 2018 to October 2020.

Por otra parte, se realizó la modelación de líneas equipotenciales y abatimientos de cinco pozos (Fig. 8) dentro de la cuenca baja del Río Casas Grandes, denotando un flujo de agua con una tendencia de NE-SO representados por las variaciones de niveles estáticos. Estos niveles presentan fluctuaciones continuas a lo largo del estudio, los cuales son influenciados por la presencia de pozos de bombeo aledaños a los pozos monitoreados ya que la extracción continua de agua conlleva a la generación de conos de abatimiento dentro de los pozos y se reflejan en zonas cercanas a estos. Los niveles estáticos dentro de la parte noroeste del estudio están dentro de un rango de los 10 y 20 m de profundidad con respecto a la altura en metros sobre el nivel del mar del pozo, precedido con la tendencia hacia el suroeste por niveles estáticos entre los 20 y 30 m, siendo el nivel estático más profundo observado el del pozo “Rancho el Milagro”, por debajo de los 60 m. La dirección de flujo de agua subterránea presenta una tendencia NO-SE con dirección al abanico aluvial formado en las faldas de la Sierra Boca Grande viéndose representadas por las variaciones en los niveles estáticos de los pozos analizados.

Con respecto a la comparativa de evolución temporal de los pozos analizados (Tabla 1), se ven representadas las fluctuaciones de los niveles estáticos de 1996 a 2020 en el pozo “Rancho Viejo” dentro de los cuales existen decrementos en los niveles estáticos.

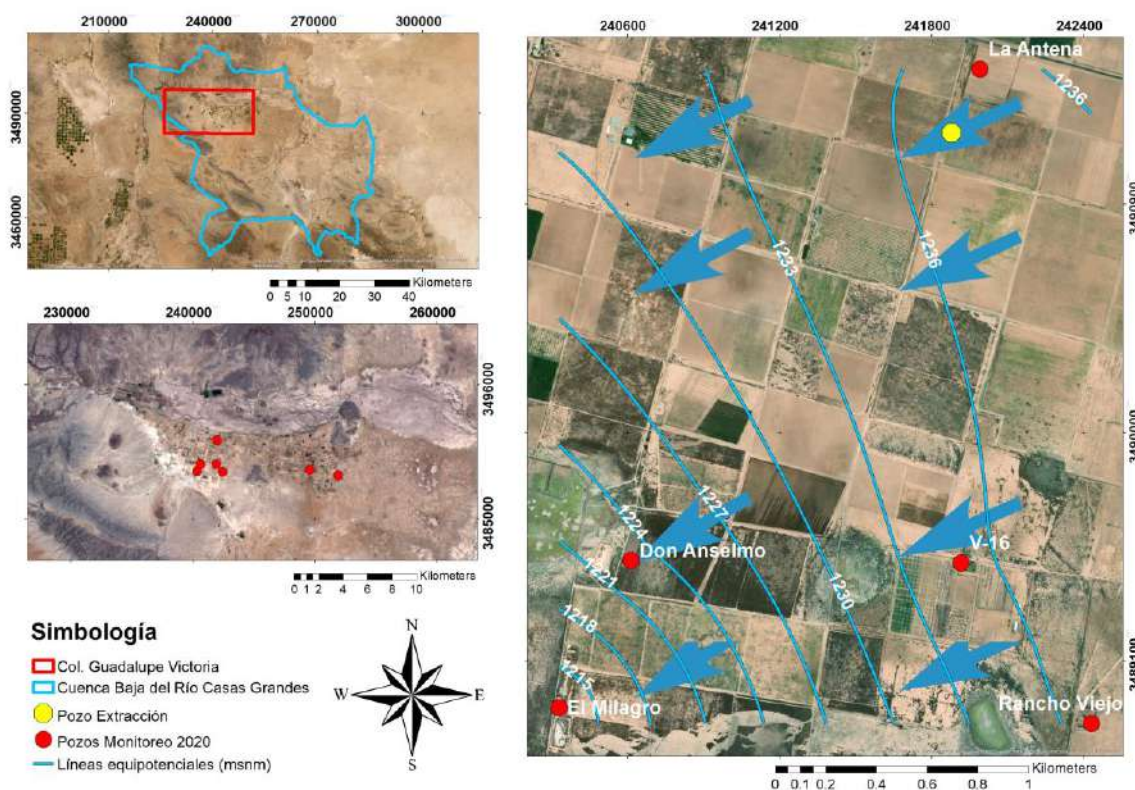


Figura 8. Modelación de líneas equipotenciales y flujos dentro de la Cuenca Baja del Río Casas Grandes
Figure 8. Modeling of equipotential lines and flows within the Lower Basin of the Casas Grandes River.

Tabla 1. Evolución temporal de los niveles estáticos en la cuenca baja del Río Casas Grandes.
Table 1. Temporal evolution of static levels in the Lower Basin of the Casas Grandes River.

Pozo	Nivel estático (m)					
	1996	1999	2010	2013	2018	2020
Rancho Viejo	14.6	S/R*	11.71	12.17	11.8	11.7
La Antena	S/R*	S/R*	21	20.34	20.85	21.23
Don Anselmo	S/R*	S/R*	23.9	22.5	17.8	25.83
El Milagro	67.5	62.27	S/R*	S/R*	67.4	67.2
V-16	21.2	19.86	S/R*	S/R*	15.5	15.55

*Sin registro piezométrico
 *No piezometric register

Los pozos analizados para la comparativa 1996-2020 demuestran una evolución con fluctuaciones similares, demostrando descensos y aumentos de sus niveles estáticos relativamente bajos, exceptuando el pozo "Don Anselmo", el cual presenta cambios drásticos en su nivel mostrando recuperación y abatimientos notorios. Es importante señalar que el pozo "La Antena" demuestra una gran estabilidad de su nivel estático al no presentar abatimientos debido a la presencia de un pozo en operación constante aproximadamente a 200 m de distancia (Fig. 8), demostrando que la complejidad geológica y estratigráfica del acuífero influye directamente en el nivel estático del pozo. En contraste, la piezometría digital permitió el análisis de los niveles estáticos del acuífero a tiempo real, denotando la basta cantidad de información generada en cada uno de los pozos analizados. Gracias a este método, se capturaron datos en intervalos de tiempo reducidos sin la necesidad de realizar repetidas visitas de campo.

4. Conclusiones

Dentro de esta investigación se documentó la evolución temporal de los niveles piezométricos del acuífero Palomas-Guadalupe en la cuenca baja del Río Casas Grandes a partir de la instalación de piezometría digital, demostrando su importancia para la realización de estudios geohidrológicos ya que facilita la obtención de datos en tiempo real, formando bases de datos más completas y confiables debido a la programación de los equipos. A su vez, denota la posibilidad de estudio de los acuíferos a grandes escalas de tiempo, sin la necesidad de visitar el área de estudio frecuentemente.

Con respecto a los datos obtenidos a partir de la piezometría digital, se visualizaron variaciones del nivel estático entre los 11.05 y 11.65 m en el periodo 2018-2020 dentro del pozo "Rancho Viejo", presentando la mayor reducción del nivel en el año 2020. Dichos datos corroboran la comparativa histórica del periodo 2010-2020, dentro de la cual se registraron niveles estáticos cercanos a los 11.7 m, con un ligero descenso en el 2013 a los 12.17 m de profundidad. A su vez, se capturó un incremento de temperatura del agua de aproximadamente 0.2 °C a partir del año 2019 la cual no demostró ninguna tendencia de descenso. Cabe señalar que la temperatura del agua subterránea es uno de los mejores métodos de trazadores ambientales para la detección de flujos de agua debido a que la temperatura en los acuíferos es transportada no solo por conducción, si no por advección causada por los flujos de agua subterránea, influyendo en el perfil de temperatura del suelo. Dichos trazadores de temperatura son utilizadas para cuantificar las tasas de recarga en regiones áridas y semiáridas (Taniguchi, 1994; Kicuchi & Ferré, 2016).

La metodología implementada demostró un monitoreo consistente de la evolución temporal de los niveles estáticos dentro de la cuenca, permitiendo analizar los flujos de agua dentro del acuífero, así como los abatimientos generados dentro de este. Dentro de esto, se demostró una tendencia principal de flujo NO-SE remarcando un abatimiento generado hacia la sección sureste del área con dirección al abanico aluvial de la Sierra Boca Grande. Sin embargo, debido a que la complejidad litológica del área de estudio afecta en gran medida los flujos y niveles estáticos dentro de la infraestructura hidroagrícola, se requiere la ampliación de monitoreo para poseer un mayor conocimiento acerca de los flujos y generar una modelación más significativa del área, así como generar datos con mayor relevancia en lo que concierne a la evolución temporal y abatimiento del

acuífero. A su vez, la aplicación de estudios de geofísica en el área sustentaría y determinaría los perfiles estratigráficos del área, complementando estudios geohidrológicos futuros.

Es necesario el seguimiento del estudio de piezometría en el acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (0812) de la cuenca baja del Río Casas Grandes, debido a que la mayor parte del agua utilizada en la zona proviene del acuífero y es empleada en extensas zonas de riego, ya que la agricultura es la actividad económica principal dentro de la cuenca. El uso intensivo del agua subterránea en la zona conlleva a una variedad de problemas como el abatimiento de los pozos, así como la pérdida total del nivel dentro de ellos. En este sentido, se considera necesaria la gestión del recurso hídrico para un uso sustentable ya que debido a la condición árida de la zona es propenso a la disminución de los niveles estáticos debido a la problemática actual del cambio climático.

5. Referencias

- Armendáriz, C. (2013). Implementación de nuevas tecnologías en la medición de niveles piezométricos en la Cuenca Baja del Río Casas Grandes, Ascensión, Chihuahua, México Tesis [Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez].
- Arreguín Cortés, F. I., Alcocer Yamanaka, V., Marengo Mogollón, H., Cervantes Jaimes, C., Albornoz Góngora, P. & Salinas Juárez, M.P. (2010), Los retos del agua. En El agua en México: Cauces y Encauces (pp. 51-78) Tlalpan, México: Comisión Nacional del Agua. Tlalpan (Ciudad de México): Academia Mexicana de Ciencias.
- Castro Condori, W. (2017). Evaluación del nivel freático de las aguas subsuperficiales en la parte baja del municipio de Umala provincia Aroma del departamento de La Paz. Revista Estudiantil AGRO-VET, 1(1), pp. 41-53. <https://bit.ly/3w6EcYK>
- CONAGUA (2014). Comisión Nacional del Agua, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014) Programa Nacional Hídrico 2014-2018, Cd. de México, p. 29 <https://bit.ly/3P0dN7v>
- CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero (0812) Palomas-Guadalupe Victoria, Estado de Chihuahua. Diario Oficial de la Federación. <https://bit.ly/3Pd37Th>
- ESRI (2016) Environmental Systems Research Institute. <https://bit.ly/3OZYL1o>
- Gobierno del estado de Chihuahua (2019). Gobierno del estado de Chihuahua, Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua, (2019). Plan Estatal Hídrico 2040 del estado de Chihuahua, Chihuahua, p. 27. <https://bit.ly/3KNfulw>
- Gutiérrez, M., Reyes-Gómez, V. M., Alarcón-Herrera, M. T. & Núñez-López, D. (2016). Acuíferos en Chihuahua: estudios sobre sustentabilidad. El científico frente a la sociedad, Mayo-Agosto, X(2), pp. 58-61. <https://bit.ly/3FhwCP7>

- INEGI, (2003) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis de información geográfica del estado de Chihuahua, Aguascalientes, Aguascalientes, ISBN 970-13-4166-X, 9, pp 111-120
- Kikuchi, C.P. & Ferré, T.P.A. (2016). Analysis of subsurface temperature data to quantify groundwater recharge rates in closed Altiplano basin, northern Chile. Hydrogeology Journal. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1472-1>
- Martínez, P. (2010). Piezometría Digital en la Cuenca Baja del Río Casas Grandes, Ascensión, Chihuahua, México Tesis [Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez].
- Pulido Bosch, A. (2000). La explotación de las aguas subterráneas y su implicación en la desertización. Boletín Geológico y Minero, 111(5), pp. 3-18. <https://bit.ly/3vNuYSf>
- Ramírez-Villazana, O., A. Granados-Olivas & A. Pinales-Munguía. (2016). Clasificación geoespacial de los indicadores del medio físico para la recarga del acuífero Palomas-Guadalupe Victoria, Chihuahua, México. TECNOCENCIA Chihuahua 10(1): pp. 32-38. <https://bit.ly/3P00Lqq>
- Reyes-Cortés, I., Reyes-Cortés, M. & Ruiz Cisneros, H. (2009). Problemática del agua en Chihuahua: Una propuesta. CULCyT, marzo-abril, 6(1), pp. 35-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3238579>
- Romero-Gameros, C. (2018). Estudio de la evolución temporal de los niveles piezométricos en el Acuífero Palomas-Guadalupe Victoria (0812) de la Cuenca Baja del Río Casas Grandes, Ascensión, Chih. Tesis [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez].
- Servicio Meteorológico Nacional (2010). <https://bit.ly/3KHYDQU>
- Taniguchi, M. (1994). Estimated Recharge Rates from Groundwater Temperatures in The Nara Basin, Japan. Hydrogeology Journal, 2(4), pp. 7-14. <https://doi.org/10.1007/s100400050031>
- VanEssen. (2020) Cera-Diver. <https://bit.ly/3KPm0rC>
- 2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo de Divulgación

Influencia idiomática en la producción científica de investigadores mexicanos

Idiomatic influence on the scientific production of Mexican researchers

Javier Tarango¹ y Fidel González-Quiñones^{1*}

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Filosofía y Letras. Rúa de las Humanidades s/n Ciudad Universitaria, 31174 Chihuahua, Chih., México.

*Correspondencia: fgonzalez@uach.mx (Fidel González-Quiñones)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.837>

Recibido: 11 de agosto de 2021; Aceptado: 17 de septiembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El perfil del investigador científico en México está definido por un gran número de funciones y características académicas, las cuales no se limitan únicamente al registro en cantidad de productos publicados, sino además, a otras condiciones vinculadas a la calidad de los mismos. Este artículo, estudia una problemática que se ha convertido en un dilema sobre la conveniencia que representa publicar en la propia lengua (para el caso el idioma español) o pretender hacerlo en otra, especialmente, aquella relacionada con el lenguaje dominante de la ciencia (en la actualidad considerado el idioma inglés). El estudio se basa en tres perspectivas fundamentales: (1) la defensa por el uso de la lengua propia con miras a fortalecerla ante el mercado editorial y científico; (2) recurrir al uso del lenguaje dominante de la ciencia para obtener mayor visibilidad y prestigio, considerando con ello, la posibilidad de afrontar distintas limitaciones; o (3) promover el bilingüismo y multilingüismo en las publicaciones, resultando esta opción la menos viable. Todas las posturas ofrecen su propia justificación, teniendo como referencia sus ventajas y desventajas, además de distintas perspectivas de contribución al desarrollo de la literatura científica.

Palabras clave: comunicación científica, influencia idiomática, estrategias de publicación, lenguaje dominante de la ciencia, lenguaje minorizado de la ciencia.

Abstract

The profile of the scientific researcher in Mexico is defined by a large number of academic functions and characteristics, which are not limited only to registering the quantity of published products, but also to other conditions related to their quality. This article studies a problem that has become a dilemma about the convenience of publishing in one's own language (in the case of the Spanish language) or trying to do it in another, especially that related to the dominant

language of science (in currently considered the English language). The study is based on three fundamental perspectives: (1) the defense for the use of one's own language with a view to strengthening it before the publishing and scientific market; (2) resorting to the use of the dominant language of science to obtain greater visibility and prestige, thereby considering the possibility of facing different limitations; or (3) promoting bilingualism and multilingualism in publications, this option being the least viable. All positions offer their own justification, taking as reference their advantages and disadvantages, as well as different perspectives of contribution to the development of scientific literature.

Keywords: scientific communication, language influence, publication strategies, dominant language of science, minoritized language of science.

Introducción

La ciencia, tecnología e innovación son temas de una reflexión amplia y dialogada respecto a si son elementos verdaderamente probados para influir en el desarrollo económico de los países que los promueven (Bracamontes y Contreras, 2011). Aun así, se espera que su influencia sea significativa en el desarrollo económico y social de cada país y sus ciudadanos, por ende, se debe prestar especial atención a sus comportamientos, los cuales se caracterizan por importantes cambios geopolíticos con repercusiones valiosas en una influencia indirecta significativa (UNESCO, 2015). En el análisis de la importancia de la ciencia, tecnología e innovación, debe tenerse presente el estudio de las políticas de ciencia y tecnología, donde regularmente es necesario conocer los objetivos, metas e indicadores establecidos en los diversos documentos base sobre el tema, teniendo la certeza de que existen los siguientes elementos: políticas de Estado en ciencia y tecnología; planes para incrementar la capacidad científica y tecnológica del país; y elevar la competitividad e innovación de los responsables de la ciencia, considerando tanto personas como instituciones (López Leyva y Sandoval Barraza, 2007). A partir de este análisis, se sabe que la ciencia y la tecnología se han convertido en estrategias ampliamente relacionadas con las actividades de la vida cotidiana y el progreso de la sociedad (Cañedo Andalia, 2001).

La medición del papel del investigador científico suele observar diversos matices, caracterizada por cuatro procesos fundamentales: entrada de recursos, proceso de transformación, salida de contenidos estructurados y el impacto de los productos publicados (Cortés Vargas, 2007). Las prácticas científicas que se desarrollan en las universidades y centros de investigación incluyen actividades, tales como: desarrollo de proyectos de investigación, impartición de docencia, generación de procesos de gestión, evaluación, formación de recursos humanos, además de tener como fin último el cierre del proceso, la realización sistemática de publicaciones científicas (FOLEC, 2020). Más allá de todo lo anterior, se destaca que existen otros indicadores específicos para medir las condiciones de la comunicación científica, tal es el caso de la importancia que se da al idioma en el cual se generan las publicaciones.

En la actualidad, debe reconocerse que los idiomas han tomado su propia capacidad de influencia. Por ejemplo, el inglés ha mostrado un movimiento significativo de expansión adherido al fenómeno conocido como globalización, convirtiéndose, incluso, en una necesidad que influye en los diversos sectores académicos y productivos (Chávez-Zambrano *et al.*, 2017). La importancia del idioma inglés en la producción científica como lengua internacional, ha generado grandes oportunidades

en las transmisiones de una cultura mundial, siendo la investigación científica un factor transformador, en donde una lengua mundial como el inglés fortalece la posibilidad de contribuir al desarrollo científico (Niño-Puello, 2013).

La relación del uso de varios idiomas, dominantes o no dominantes de la ciencia en relación con la producción científica, es causa de múltiples controversias, unas a la defensa del uso de la propia lengua (aunque su aparente impacto sea menor), así como el uso de idiomas que prevalezcan en el ámbito científico por su impacto y visibilidad (basados en otra clase de intereses personales e incluso económicos). Para Gómez Nashiki *et al.* (2014), en el caso específico de México, los investigadores científicos suelen manifestar sus inquietudes al respecto tratando de cumplir con los intereses de las instancias evaluadoras, del mismo modo, reconocer sus propias limitantes idiomáticas como de otros tipos, lo cual inhibe sus prácticas de publicación y, además, deben atender la problemática de identificar las formas o condiciones de estilo que definen las propias revistas científicas.

Existen ocasiones en las que los investigadores científicos parecieran estar forzados a sujetarse al uso del principal lenguaje dominante de la ciencia (el inglés). Aunque no se pretende hacer ninguna imposición de posturas, se sabe que la diversidad cultural y lingüística de la sociedad actual, plantea problemas de comunicación que se han resuelto de diferentes maneras, todo ello, con el fin de que cada país se iguale a los requerimientos de internacionalización y globalización, no solo en la ciencia, además, en las relaciones económicas y sociales que se demandan (Figuroa-Saavedra, 2009).

Por otra parte, se muestra la postura en la que se defiende al idioma propio (en este caso el español) como el ideal para comunicar ciencia, bajo la posición de que, al sustituirlo por otro, existen mayores posibilidades de no llegar a su consolidación (García Delgado *et al.*, 2013). Ante la defensa del uso del español en la comunicación científica, se justifica en que más de 450 millones de personas en el mundo lo hablan y existen aproximadamente 8,300 revistas indizadas que utilizan este idioma, las cuales influyen en 150 disciplinas científicas, con lo cual, es posible identificar al español como uno de los cinco idiomas más usados en publicaciones científicas, representando solo el 0,24% de las publicaciones en el mundo (Universidad Nacional de Córdoba, 2019).

Problemática en la elección idiomática en la comunicación científica

Los países catalogados como de economías periféricas o en vías de desarrollo mantienen una constante búsqueda de mecanismos para lograr el crecimiento en diversos aspectos sociales, económicos y políticos con miras a lograr el desarrollo humano. Tales intenciones pretenden, como propósito principal, reducir el grado de dependencia que los países en desventaja tienen en relación con aquellos que han logrado un crecimiento suficiente para ser calificados como países desarrollados, tanto en aspectos científicos como en riqueza (especialmente medida en márgenes per cápita de ingresos económicos promedio), educación y sanidad.

Los indicadores de comparación entre los países de economía desarrollada y subdesarrollada, regularmente se basan en elementos de medición de carácter social, los cuales diferencian condiciones en la forma de vida de la totalidad de los ciudadanos a través de los índices de desarrollo humano, sin embargo, existen preocupaciones específicas o con mayor grado de especialidad, que regularmente establecen comparaciones con aspectos que afectan solo a grupos

más reducidos. Para este caso, puede considerarse como ejemplo y motivo de este artículo, el estudio de la dependencia sobre el conocimiento científico de otros países al no haber elaborado su propio corpus, situación que experimenta México en relación a la comunicación científica, las condiciones actuales y las perspectivas de desarrollo.

Además de múltiples indicadores cuantitativos sobre la producción y comunicación científica que posicionan a un país frente a otros, surgen nuevos aspectos a considerar dentro del rango de las preocupaciones en el tema de estudio, tal es el caso de la visibilidad e impacto de las publicaciones científicas que den renombre y reconocimiento a los investigadores. Siendo aún más específicos en situaciones particulares, el dilema que se experimenta sobre los pros y contras, así como las motivaciones que se deben considerar al publicar en la lengua propia o en otras. En este sentido, existen diversas discusiones sobre lo que más conviene y si verdaderamente tienen presencia elementos más allá de la propia ventaja cuantitativa, sin dejar de obviar aspectos cualitativos de defensa y perspectivas de comportamientos presentes y futuros.

Esta propuesta se justifica en la necesidad de clarificar la condición que guardan los investigadores científicos mexicanos y los sistemas de evaluación de la ciencia, en relación con el uso del idioma propio (español) en comparación con otras, prestando principal atención a la aplicación del inglés como lenguaje dominante de la ciencia. La preocupación del uso de los idiomas en las publicaciones científicas observa múltiples puntos de vista al respecto, unos a favor de emplear la lengua propia, contra otras más que consideran que la publicación en el lenguaje dominante de la ciencia ofrece múltiples ventajas y mejores perspectivas en general. Sin embargo, no son suficientes las visiones teóricas al respecto, por lo que se vuelve necesario llegar al registro de resultados concretos, de tal forma que estadísticamente sea posible demostrar el verdadero impacto de la influencia idiomática en la producción científica, para esta cuestión, considerando solo investigadores científicos mexicanos.

En la actualidad, la generación de conocimiento se ha convertido en una de las principales actividades que influyen en la solidez de las instituciones de educación superior e investigación científica, proyectada especialmente en la participación de académicos, con miras a obtener el reconocimiento oficial como investigadores científicos, cuya medición principal se evidencia a partir del registro de las publicaciones realizadas y el nivel de calidad de las mismas (Arechavala Vargas, 2011; Hernández Bringas *et al.*, 2015).

Los investigadores científicos buscan generar impacto de los trabajos publicados, por tanto, consideran además del idioma: preferencias de publicación según la condición de las revistas científicas elegidas, tipo de productos documentales (tales como los artículos científicos en particular los de mayor interés), disciplinas científicas con mayor reconocimiento por su aplicación práctica, factores de impacto y entidades académicas involucradas en la participación de los autores involucrados (Luna-Morales *et al.*, 2012). Las publicaciones científicas se han convertido en una actividad de gran importancia, no solo para la ciencia en su conjunto, sino también para aquellos que la practican ya que es el medio para comunicar el conocimiento y los resultados de investigación, pero también, porque a partir de ella los profesores e investigadores acceden y progresan en sus carreras académicas (Delgado López-Cózar *et al.*, 2020).

Relación de la influencia idiomática y las publicaciones científicas

La incursión en el ámbito de las publicaciones científicas genera múltiples controversias respecto a la definición de su calidad, visibilidad e impacto, así como la forma en que estas convienen al desarrollo del perfil del investigador científico y su nivel de reconocimiento (Mendoza y Paravic, 2006; Dávalos-Sotelo, 2015). Uno de los criterios que mayor debate propicia, es la definición de la influencia idiomática de los productos publicados, ya sea por conveniencia del investigador científico, la aparente influencia en las comunidades científicas e, incluso, la adquisición de mayor nivel de prestigio. Esto significa que el idioma en el que un investigador científico publica podría preverse como un agente determinante en diversos factores secundarios.

La comunicación científica busca siempre proyección, la cual puede asumirse desde dos formas: (1) la visibilidad directa, la cual sucede a través de suscripciones por adquisiciones de primera mano por los consumidores, ya sean estos individuos o instituciones; y (2) la visibilidad indirecta, la cual se logra a través de bases de datos, directorios, catálogos de revistas y bibliotecas virtuales (López Leyva, 2011). Por tanto, el reto de los investigadores y de las revistas científicas latinoamericanas, al pertenecer a países en desarrollo y al publicar en el idioma propio, que no se considera como lenguaje dominante de la ciencia, es subsistir y cambiar su condición de “periferia” del conocimiento, contrario al concepto de corriente principal para el caso de los países con alto desarrollo científico e industrial, quienes además, dictaminan la industria del procesamiento y comunicación de la información científica. La ciencia en español proveniente de países latinoamericanos es considerada como la periferia del conocimiento, especialmente en las ciencias exactas y naturales (Mendoza y Paravic, 2006).

Por otra parte, medir la presencia internacional de las publicaciones científicas resulta complicado, ya que en ocasiones se utiliza como sinónimo de calidad, a pesar de no haber sido definido de manera consensuada. La percepción de los investigadores científicos respecto a las condiciones de presencia internacional de las publicaciones de esta rama es: (1) el idioma de la publicación; (2) acceso por Internet (a través de procesos de *Open Access*); y (3) acatar las normas internacionales de publicación. Existen diferencias conceptuales dependiendo de las zonas geográficas y los campos del conocimiento (Buela-Casal y Zych, 2012).

Además, para De Pablos Coello *et al.* (2015) y Lima Fluminhan y Santina Murgu (2017), la incorporación de Google en la bibliometría con el registro de indicadores personales de investigadores científicos ha permitido analizar diversos índices de impacto y registro de cantidades de citas, incluso permitiéndose con ello el reconocimiento de las publicaciones por idioma. Otros índices de identificación a través de Google (específicamente Google Scholar Citations) son los siguientes: índice *h* (*hIndex*) como un medio de visibilidad de la investigación, a través del cual se mide el impacto personal del investigador, lo cual representa en términos generales el número de artículos que tienen citas; y de acuerdo al período de medición, se identifica el Índice *h5* (referida a las citas recibidas en los últimos cinco años), y el Índice *i10* (que resume el comportamiento de citas por 10 años). Es posible relacionar estos indicadores con áreas del conocimiento en las que participa el investigador científico, lengua de los documentos publicados, entidades geográficas e institucionales, entre otros elementos más propios de la métrica de la información y de la productividad individual y colectiva de los sujetos en estudio.

El número de citas de un artículo o el factor de impacto que logran los investigadores científicos, está estrechamente relacionado por el idioma en que se escribe, siendo las publicaciones en lengua inglesa las que ofrecen mejores resultados. En inglés, existen artículos que han alcanzado 100 mil citas, en tanto en español, se han logrado solo 561 (Franco-López *et al.*, 2016). Los mecanismos más precisos de identificar la productividad científica de los investigadores, sin lugar a dudas, toma como referencia el número de citas que alcanza cada documento publicado, considerándose esta una de las principales métricas para medir su impacto, al cavar que suceden, en la medida de lo siguiente: novedad e interés del tema; idioma de la revista, lo cual determina su alcance; reputación y reconocimiento del investigador a nivel nacional e internacional. Todo ello, se basa en los motivos del propio investigador científico quien pretende obtener un logro social, mercantil y de comunicación de hallazgos (Camargo Mayorga, 2018).

Las revistas científicas se han convertido en elemento central de la evaluación académica y científica de universidades y centros de investigación. La medición de su impacto se enfoca en dos elementos: número de publicaciones y cantidad de citas, condición que se considera poco precisa ya que a través de su uso se producen diversos tipos de sesgos (temáticos o disciplinares y de idioma) que afectan la estratificación entre los investigadores y sus instituciones de adscripción. En el caso del tema de estudio de este artículo, se entiende por sesgos de idioma, aquellos que se manifiestan cuando se favorece a las instituciones ubicadas en países de habla inglesa; y los sesgos temáticos o disciplinarios, donde los propios sistemas de indización favorecen algunas áreas científicas de particular interés, como es el caso de las ciencias de la salud, la química o la biología por encima de las humanidades y las ciencias sociales (Ordorika, 2018).

Para Matías-Guiu y García-Ramos (2011), los sesgos en la publicación se refieren a aquellas situaciones en las que los resultados influyen en la decisión de la aceptación, siendo el editorial aquel que se refiere a las situaciones que influyen en la decisión de la aceptación de un manuscrito y que están relacionadas con los autores, bien por su origen, por sus características o por su entorno. Estos autores plantean dos consideraciones respecto a la existencia de sesgos: (1) en la edición es innegable, tanto de la publicación como editoriales, y desde un punto de vista ideológico sería preferible que no existieran. El autor, cuando remite su manuscrito, debe analizar si este va a tener un trato de equidad o no, y actuar en consecuencia; y (2) en la edición es innegable, tanto de la publicación como editoriales, y desde un punto de vista ideológico, sería preferible que no existieran, pero la cuestión es si son relevantes, si son evitables y si condicionan cambios en la opinión científica.

El sesgo editorial podría llegar a concebirse como un fraude ético; este se considera una conducta delictiva, además de la invención de datos y experimentos, es la inclusión en la llamada autoría inmerecida con fines de aumentar el número de publicaciones, por ambición, vanidad, deseo de fama, pereza y complejo mesiánico (cuando un autor cree estar destinado a ser el líder de un área del conocimiento). Las condiciones que no acreditan la autoría suelen ser: edición técnica, traducción del manuscrito, búsquedas bibliográficas, reclutamiento de personas para las muestras, análisis estadístico de datos, búsqueda de fondos o haber sido miembro del comité de tesis (Hernández-Chavarría, 2007).

El dilema en la elección del idioma en la comunicación científica

La primera y gran controversia respecto a la influencia idiomática en las publicaciones científicas inicia con dos posturas: los que defienden que el investigador debe escribir y publicar en su propia lengua; y los que proponen la adaptación del investigador a las exigencias propias de la globalización del conocimiento, por tanto, se plantea publicar en el idioma dominante del ámbito económico y social, lo cual se proyecta a la lengua que más se escribe, lee y usa en la ciencia principal. Ambas posturas están diferenciadas incluso en relación con las disciplinas científicas que componen el ámbito del conocimiento, además de una proposición incluyente, en la cual se aborda al bilingüismo como solución neutral. Segarra Saavedra y Plaza Nogueira (2011), son autores que han considerado que, al menos en ciencias sociales, las publicaciones de habla española experimentan su propio debate; el uso único y exclusivo del idioma propio como lenguaje científico o el aperturismo a otros modelos dentro de sus publicaciones basadas en el bilingüismo (inglés) o incluso en el multilingüismo.

Entender la importancia del idioma en las publicaciones científicas, es considerar que el tipo de lenguaje de la ciencia es de tipo formalizado, frente a otros de carácter natural o libre. Debe diferenciarse el lenguaje científico entre el lenguaje natural o libre (no regulado) (Llácer Llorca y Ballesteros, 2012). El uso de los idiomas como factor determinante en la comunicación científica puede considerarse un fenómeno sociolingüístico. La utilización lingüística y las razones de su uso, determina el camino que siguen las publicaciones científicas y el efecto que provocan en quienes las consultan, ya que se habla del idioma como un producto del sistema globalizado y cuyo código más utilizado es el idioma inglés, el cual se ha considerado, incluso, como un medio para evitar el complejo de inferioridad en las publicaciones científicas. Esta condición tiene relación con disciplinas como la economía, la historia, la sociología y la política, en esta última, de manera especial en el análisis del discurso (Cubilla Zadovsky, 2017).

El uso de cualquier lengua en la comunicación científica muestra una fuerte relación con la lingüística. Castel (2010a) plantea dos aseveraciones: (1) la modelización lingüística, en particular, la escritura de gramáticas formalizadas, procura dar cuenta de un aspecto esencial del comportamiento lingüístico: el apareamiento sistemático de significados con significantes que subyace en la producción y comprensión de textos; y (2) las características formales y el alcance descriptivo de los modelos utilizados varían de acuerdo con las escuelas lingüísticas dentro de las cuales se formulan, a veces, incluso dentro de una misma escuela. Ciertos aspectos lingüísticos y formales de las publicaciones científicas, tales como, la preferencia en el uso impersonal del verbo (escribir en tercera persona), predominio del párrafo breve, el estilo neutral no valorativo, así como el uso de tecnicismos y la exclusión de extranjerismos innecesarios son característicos del uso correcto del español (Alpizar Castillo, 2010; López-Navarro *et al.*, 2015).

La variedad lingüística es un tema fundamental en la condición de la comunicación científica, por tanto, surgen ciertos términos en relación a su uso, tales como: English for Science and Technology, Scientific English, Technical English (expresiones en inglés) e inglés técnico o inglés científico-técnico (en español), surgiendo de todo esto el término de English for Science and Technology, todo ello, producto del predominio del inglés en la ciencia y la tecnología (Álvarez de Mon, 2001).

La publicación en la lengua científica propia o dominante está determinada por diversas motivaciones del propio investigador, basadas especialmente en una visión dinámica, multidimensional y multinivel de la propia motivación. Los factores que motivan a los investigadores a la hora de publicar en revistas científicas son definidos por características individuales tales como el género y la experiencia en investigación y publicación, en tanto que, la publicación solo en idioma inglés frente al español en menor grado, está basada en fundamentos sociales e ideológicos, lo que representa que las motivaciones observan las siguientes perspectivas: psicológicas, sociológicas y racional-económicas (López-Navarro *et al.*, 2015).

La expresión escrita es el canal que regularmente se usa para exponer los hallazgos de las investigaciones, donde, su buen uso, ofrecerá la posibilidad de mostrar contenidos precisos para la comunidad científica. La investigación no está completa hasta que sus hallazgos hayan sido publicados una vez aceptados por las comunidades científicas. Toda comunicación científica está constituida en dos aspectos específicos en la precisión y robustez de los escritos de esta índole provenientes de procesos de investigación y en el aspecto lingüístico usado para expresar los contenidos. En ambos casos, la falta de rigor pone en consideración la ausencia de calidad de los trabajos de esta rama (Ruiz de Francisco y Alemán Méndez, 2003). Cualquier idioma en el que se escriba un artículo científico, aunque no sea el propio, deberá ostentar la misma consistencia como se hubiera sido expresado en la lengua propia (Castel, 2010b).

Posturas en defensa de publicar en la lengua propia

La postura relacionada a la defensa del uso de la lengua propia en las publicaciones científicas (para el caso el idioma español), es que, si los investigadores llevan a cabo esta actividad de forma sistemática en revistas de alto prestigio, será la única manera de posicionar a un país en el mapa de las comunidades científicas. Esto significa, que conforme se consolide la publicación de calidad en el idioma propio, mayores posibilidades se tendrán de que esas fuentes tengan mayor divulgación, sean consultadas por otras comunidades científicas y contribuyan a su propio reconocimiento, de lo contrario, nunca se consolidará la condición de los países según su idioma (Díaz *et al.*, 2001).

Estudiar la condición en el uso de la lengua materna resulta complejo y puede que lo sea, entre otros motivos, porque este tema se relaciona directamente con otras especialidades, lo que da necesariamente a la investigación un carácter pluridisciplinar, afirma Gaibrois Chevrier (2016), por tanto, recomienda:

- a) Reflexionar sobre el olvido de la lengua materna en un contexto general de bilingüismo o plurilingüismo.
- b) Realizar un estudio de caracterización lingüística del olvido del idioma materno.
- c) Encontrar técnicas de mejora y de prevención de la degradación lingüística en un contexto específico de docentes nativos del idioma.

Ante la disyuntiva de los investigadores científicos nativos del idioma español, acerca de comunicar sus hallazgos en revistas de lenguas extranjeras con el fin de ampliar su comunicación, o bien, recurrir al uso del idioma propio, aún con las limitaciones que ello implica, muchos consideran que se debe apostar en publicar en la lengua propia. Stecher (2020) considera que existe un fenómeno de minorización lingüística de la lengua española en el ámbito científico, entendida como un proceso a una subordinación como efecto forzado y paulatino de la no aplicación del español por los

científicos hablantes de ella. Este autor, junto con Cooke y Birch-Becaas (2009), consideran que la reducción en el uso de esta lengua como medio de comunicación científica sucede bajo las siguientes circunstancias:

- a) Existe una condición de una lengua dominante, impuesta en los investigadores hablantes de la lengua minorizada.
- b) La minorización lingüística se consolida cuando los propios hablantes aceptan y ven a su propia lengua como de poca utilidad.
- c) Los investigadores se rigen por la idea de que el idioma inglés es la lengua franca de la ciencia, situación apoyada por las estadísticas de publicación.
- d) Publicar en idiomas de poca frecuencia en la investigación implica el riesgo de que las publicaciones sean ignoradas.
- e) No usar el idioma propio (en este caso español), por estar determinado por otra clase de intereses de los propios investigadores científicos.

Algunos países hispanoparlantes, a través de sus organismos de regulación de la ciencia, con el fin de suscitar la publicación en su lengua materna, tienden a promover que se hagan revisiones exhaustivas sobre el uso del lenguaje, esto con el fin de contribuir al mejoramiento de la aplicación correcta de la lengua materna en cuanto a ortografía, redacción y expresión oral (López Gómez *et al.*, 2011). Estas preocupaciones surgen ante la consideración de que la traducción tiene relevancia en la medida que, al pasar un texto, por ejemplo, de español al inglés, existen ciertas implicaciones o imparcialidades, especialmente en la expresión del análisis de resultados, donde se tienen dificultades para identificar equivalencias (Cooke y Birch-Becaas, 2009). Debe considerarse que, en muchos idiomas, el origen de la información se destaca léxica o gramaticalmente en sus expresiones, las cuales están relacionadas con la cultura, por lo que, quien traduce puede o no estar relacionado con la persona que escribe (Cela Gutiérrez, 2018).

Una de las mayores problemáticas manifestadas en relación a la posibilidad de publicar en una lengua distinta a la propia, es que no se tiene dominio suficiente de ella, lo que provoca algunas dificultades y desigualdades a las que se enfrentan los investigadores no anglófonos a la hora de desarrollar su actividad profesional en ámbitos donde prevalece el idioma inglés como lengua franca en la comunicación científica (Pardal-Refoyo *Et al.*, 2018). Las motivaciones que manifiestan los investigadores de publicar en su propio idioma se muestran algo fragmentadas y se vinculan principalmente con el razonamiento ideológico (defensa de problemas locales y el deseo de que continúen existiendo revistas científicas en español) y sociales (responder a una solicitud o invitación de una institución, asociación o editorial). Por tanto, existe una motivación mixta expuesta entre aspectos afectivo-sociales, lo cual permite la comunicación con la comunidad científica local (López-Navarro *et al.*, 2015).

Otras defensas que se ofrecen sobre el uso del español se basan en propuestas negativas que se evitan el buscar hacerlo en una lengua distinta, tales como:

- a) Inclusión de cambios en los hábitos de publicación.
- b) Alteración de las agendas de investigación.
- c) Pérdida de la pasión por investigar.
- d) Minusvaloración de la docencia.
- e) Aparición de ansiedad, el estrés y la depresión en los investigadores (Delgado López-Cózar *et al.*, 2020).

Los principales patrones de publicación de los investigadores hispanoparlantes son: sus fuentes de consulta son tanto en español como en inglés; se decantan por el español y el inglés como lenguas de publicación, aunque aceptan otros idiomas; seleccionan las editoriales y revistas donde publicar atendiendo al prestigio, la especialización temática del medio y el no tener que pagar por publicar. Además, la elección de las fuentes de publicación puede estar determinada, además de por el idioma, por los factores de impacto e índice H (Ibáñez, 2018; Delgado López-Cózar *et al.*, 2020).

El análisis del peso del español como idioma principal en las revistas científicas que se editan en el propio país del autor, es un asunto de amplia discusión y diversas polémicas, según sus propósitos de uso. Puede decirse que la cobertura del español dentro del mapa mundial de la comunicación científica, en definitiva, es importante, especialmente en algunos ámbitos disciplinares, sin embargo, su presencia no es suficiente debido a intereses socioeconómicos y territoriales, como es el caso de la medicina, la geología y el medio ambiente, así como en algunos campos de las ciencias sociales y las humanidades. Esto justifica el valor real y potencial del español en el ámbito científico (Plaza *et al.*, 2018).

Postura en defensa de publicar en la lengua dominante de la ciencia

El uso del idioma dominante de la ciencia (en tiempos actuales, referido al inglés) en el desarrollo de publicaciones científicas se basa en la apuesta firme por la adaptación lingüística al entorno mediático global, la internacionalización de las revistas científicas y su apertura de mercado, considerando que la lengua madre (en el caso de esta investigación, sobre el uso del idioma español), ofrece las siguientes limitaciones: geográficas (baja presencia en regiones amplias), políticas (inestabilidad de los sistemas y regímenes políticos), históricas (marcado etnocentrismo), económicas (bajo desarrollo), sociales (considerado un idioma “colonizador”), tecnológicas (limitada visibilidad) y científicas (bajo desarrollo) (Segarra Saavedra y Plaza Nogueira, 2011).

Las razones por las cuales se considera al idioma inglés la lengua dominante de la ciencia son: (1) el notable desarrollo de la ciencia en países cuyo idioma oficial es el inglés, tales como: Estados Unidos, Reino Unido, Canadá y Australia, principalmente; (2) las afecciones colaterales en la ciencia europea a consecuencia de las guerras mundiales; y (3) la tendencia que muestran los investigadores en países hablantes del idioma español (como es el caso de México, Colombia, España, etc.) en su tendencia a continuar con la tradición de publicar en su propio idioma (Segarra Saavedra y Plaza Nogueira, 2011).

Dado el impacto que representa el usar la lengua dominante, los investigadores científicos tienden a emplear menos su propia lengua, ya que se considera que la publicación en la lengua propia ofrece un valor inferior o no es tomada en cuenta dentro del perfil curricular del investigador y en su uso por la comunidad científica internacional (Díaz *et al.*, 2001). La publicación científica es el mayor reto de los investigadores, por encima de la disciplina a la que pertenecen. Este tipo de productos se convierten en la forma más objetiva de obtener reconocimiento y el idioma científico dominante es una de las maneras más propicias para lograrlo, ya que esta lengua se considera un medio de mejoramiento de la vida profesional del investigador científico y a su vez, se convierte en un agente transmisor de la cultura mundial y una forma de influir en mayor número de personas, también

como un medio de fortalecer las posibilidades de desarrollo científico, cultural, económico y humanístico (Niño-Puello, 2013).

El idioma inglés debe ser un reto para los investigadores científicos, pero como un lenguaje adicional al propio, siempre y cuando se logre adquirir la competencia para escribirlo correctamente. Esta condición resulta difícil, especialmente en las ciencias médicas o la química, en relación con la expresión de lenguaje formulista y en la competencia fraseológica (Laso y John, 2017). La lectura de textos científicos en inglés se está convirtiendo en una necesidad cada día mayor para los alumnos de licenciatura y posgrado como medio de acceso a una bibliografía especializada en cada área de conocimiento específica, dado el creciente auge del inglés como lengua científica universal (Fernández de Bobadilla Lara, 2000).

Es necesario identificar los niveles de visibilidad internacional de las revistas nacionales incluidas en el sistema de revistas indizadas propia de cada país hispanoparlante, considerando para ello: organismos responsables de las revistas, periodicidad, lengua en que se publican los textos y los niveles de indización. Por ejemplo, en el caso de México se identificó que solo el 6.06% de las revistas indizadas son en idioma inglés; 36.36% de las revistas son bilingües (español-inglés) y el 12.12% son multilingües (español, inglés, francés o portugués) (Rodríguez Gallardo, 2008). La incorporación de algunos textos originales que combinan el componente académico con un dominio científico particular puede verse como una oportunidad en la educación superior y, en particular, en un contexto de inglés para fines específicos y académicos para capacitar a los estudiantes para acceder a ejemplos auténticos del uso del idioma (Martínez Sáez, 2018). En otros datos relacionados con los estudios cualitativos, sugieren que escribir artículos de investigación en inglés, supone una dificultad añadida del 24% a los investigadores cuya primera lengua no es el inglés, con respecto a escribirlos en su lengua materna. Se percibe como más difícil de escribir en revistas en inglés en todas las áreas de conocimiento sin que el menor nivel de competencia lingüística lo explique completamente (Moreno *et al.*, 2012).

La publicación de trabajos científicos en inglés, especialmente por parte de las personas cuya lengua materna es otra y/o quienes se encuentran en países no anglosajones, debe verse como una manifestación de la globalización que ocurre en el mundo actual (Englander, 2009). Este autor ha desarrollado investigaciones sobre el fenómeno de la influencia idiomática del inglés en la comunicación de la ciencia, considerando:

- a) Se carece de un marco teórico suficiente sobre políticas internacionales y nacionales respecto al tema del uso de los idiomas como medios de comunicación científica.
- b) La publicación de trabajos científicos en inglés, especialmente por parte de las personas cuya lengua materna es otra, debe verse como una manifestación de la globalización que ocurre actualmente, entendida como el proceso de transformación del mundo a través de una serie de fuerzas económicas, tecnológicas, socioculturales y políticas.
- c) Explorar el vínculo entre los procesos globalizadores y sociolingüísticos, por lo tanto, permite un análisis más actualizado de las transformaciones de la producción de textos científicos escritos por autores multilingües.

La globalización idiomática a través del inglés como lengua dominante se nota con mayor notoriedad en disciplinas específicas como la salud, llegando a considerarse la única lengua "hiper-central". Tal apogeo del idioma inglés en la ciencia durante el siglo XX se atribuye especialmente a que, en el caso de las ciencias de la salud, previo a la Segunda Guerra Mundial, esta se escribía

principalmente en alemán (de manera específica en comunidades de investigadores judíos de gran influencia en la ciencia), donde al posicionarse el inglés como lengua científica franca, el Internet provocó la generación de comunidades virtuales, siguiendo este idioma dentro de la funcionalidad de los sistemas electrónicos (Larenas San Martín, 2016).

Otro aspecto que justifica la posibilidad de publicar en el idioma dominante en la ciencia, radica en la inclusión de las publicaciones en las principales bases de datos, las cuales, a su vez, son administradas por los mismos países desarrollados que mantienen el control sobre las principales revistas científicas. Es por ello, que muchos investigadores establecen relación directa con similares provenientes donde la lengua dominante en la ciencia es el idioma oficial, así posibilita la participación en revistas científicas incluidas en las bases de datos de ciencia principal (Díaz *Et al.*, 2001). Las bases de datos bibliográficas internacionales (Web of Science y Scopus como las principales) funcionan como repositorios para agregar y analizar producción científica, donde se da la posibilidad de realizar estudios bibliométricos. Ambas bases de datos se convierten en los escenarios idóneos en las disciplinas con predominio de publicaciones en lengua inglesa (Ardanuy, 2014).

Los investigadores se ven mayormente motivados a publicar en la lengua científica dominante, principalmente en relación a aspectos utilitarios para comunicar sus resultados de investigación a la comunidad científica internacional, así como, para la maximización de los beneficios no económicos como el reconocimiento del trabajo de investigación y los aspectos de promoción profesional. La publicación científica en inglés como lengua científica dominante desarrollada por los investigadores provoca diversos efectos, tales como: (1) incentivar la investigación y evitar el conformismo; (2) fomentar la imparcialidad, arbitrariedad y nepotismo; y (3) evitar caer en la endogamia localista (Delgado López-Cózar, Feenstra y Pallarés-Domínguez, 2020).

La cuantificación del idioma inglés y su consolidación como lengua científica a escala mundial, se ha convertido en un elemento representativo por su importancia dentro de esta comunidad. Los aspectos relevantes identificados se relacionan con la solidez del sector editorial científico que influye en la edición y distribución de revistas especializadas y las suficientes publicaciones dirigidas a investigadores de distintos países (Plaza *et al.*, 2018).

El impacto de la globalización se considera un factor fundamental en el auge de la lengua inglesa como un elemento clave de la universalización idiomática. Esto ha provocado que el idioma inglés se convierta en un medio para la articulación de ideas científico-técnicas de un mundo internacionalizado en donde, las potencias económicas emplean este idioma. Para Legrá Martínez *et al.* (2005), el idioma inglés como lengua internacional experimenta su desarrollo expansivo en la comunicación de la ciencia, basado en los siguientes elementos:

- a) Cada día son más las personas que se comunican en esta lengua.
- b) Muchos autores científicos consideran a esta lengua como clave de la cultura global.
- c) Hoy en día, para estar a tono con el desarrollo mundial, se vuelve necesario el dominio del idioma inglés.
- d) El acceso a los diversos medios de información científica y la revolución científico-técnica, están determinadas por el uso de la lengua inglesa.
- e) Las acciones de los países con alto desarrollo económico y social buscan acciones para homogeneizar criterios, conceptos culturales y sistemas de valores, por tanto, las publicaciones científicas se adhieren a esta condición.

En el ámbito de la comunicación científica, distintos idiomas como el alemán, francés o inglés, han alcanzado a lo largo de la historia un estatus de lenguas vehiculares. No obstante, la ciencia contemporánea ha asistido a un notable incremento del uso del inglés para fines académicos, de modo que en la actualidad los registros científicos escritos en otras lenguas son cada vez más escasos. Como consecuencia, este hecho ha puesto de manifiesto algunas dificultades y desigualdades a las que se enfrentan los investigadores no anglófonos a la hora de desarrollar su actividad profesional en un contexto que perpetua el inglés como lengua franca en la comunicación científica (López-Navarro, 2015). Para este autor, el efecto de la progresiva globalización lingüística de la ciencia ha conllevado una creciente presión hacia la estandarización, no solo en el ámbito lexicogramatical sino también en el semántico, textual y socio pragmático. En este sentido, se muestra una progresiva “pérdida de dominio” en el ámbito científico que tiene como una de sus principales consecuencias el empobrecimiento de este vocabulario en lenguas diferentes del idioma inglés.

Debe considerarse que, en épocas recientes, los investigadores con habilidades multilingües han ido gradualmente moviéndose hacia la publicación de sus hallazgos de investigación en inglés, afrontando la situación de que este idioma no es su primera lengua. Lo cual provoca que se reduzca su éxito en la capacidad de publicación. Los investigadores cuya lengua es el español, no han sido la excepción, mostrándose en desventaja comparados con los que provienen del idioma inglés (Moreno *et al.*, 2012). Además, debe considerarse que los investigadores llegan a preferir el uso del idioma inglés en sus publicaciones, teniendo en cuenta los siguientes factores: personales, profesionales, demográficos, académicos, sentimentales, visiones, actitudes de preferencia, experiencias pasadas exitosas, dificultad o limitaciones de publicación en su propio idioma, e incluso, estrategias de aprendizaje, así como, haber recibido entrenamiento previo.

La promoción del idioma inglés en la comunicación científica, no necesariamente está relacionada con influencia del texto completo del artículo sino de sus partes. Para ello, diversos autores han identificado cómo algunas partes del artículo influyen en la visualización del conocimiento, tales como:

- a) El Abstract de un artículo se constituye en “anuncio de la investigación” (Hlavacka, 2010), donde se vuelve necesario mostrar la coherencia y significado del texto, a través de una manifestación léxico-gramatical comprimida (París, 2010; París y Castel, 2010).
- b) El apartado de discusión como parte relevante de un artículo científico (Miret (2010); (3) el cuerpo del documento, en donde se muestre una relación coherente con el Abstract, además de ser una organización jerárquica de las relaciones retóricas con las conclusiones y consistencia con la comunidad científica a través del discurso (París y Castel, 2010).
- c) La sección de Discusión, al ser escrita en idioma inglés, su influencia demanda la habilidad para el lenguaje en relación con una persona ideal que usa este idioma como su lengua nativa en una comunidad (científica) que tiene un discurso homogéneo (Diblasí, 2010).

En los países de habla española, publicar en su propia lengua los ha posicionado en condiciones de desventaja, llevándolos a considerarse entidades conocidas como periféricas o semiperiféricas de la concentración científica, ya que además de su baja visibilidad, estos países se caracterizan por observar problemas de infraestructura, restricciones de financiamiento y bajo acceso a fuentes de información valiosas para sustentar investigaciones. Además, los criterios de evaluación y de reconocimiento (especialmente económico) que emplean los sistemas nacionales de ciencia y

tecnología (para el caso de México a través del Sistema Nacional de Investigadores), así como las agencias de evaluación científica y las políticas científicas nacionales, tienden a considerar a las revistas internacionales en inglés como un lugar preferente (López-Navarro *et al.*, 2017).

Otros aspectos, a manera de cierre, sobre la justificación del uso del idioma inglés como medio de comunicación científica se resumen en que la investigación científica representada en idioma inglés demanda una descripción retórico-lingüística plasmada a través de sus artículos, ya que como tal, se convierte en el principal mecanismo buscado por los investigadores (Boccia, 2010); y la escritura científica en idioma inglés, comprometen al investigador a expresar sus hallazgos con responsabilidad en sus premisas, por lo que resulta complejo expresar con certeza ciertas afirmaciones en un idioma distinto al propio (Rezzano, 2010).

Postura en defensa de publicar recurriendo al bilingüismo y multilingüismo

Tanto el bilingüismo como el multilingüismo son analizados desde diferentes perspectivas, sin llegar a ser la propuesta mayormente desarrollada. La base de este planteamiento radica en la posibilidad de que los investigadores participen en publicaciones científicas de manera alternada, tanto en dos como en más idiomas, tanto de forma total como parcial. Esta corriente reconoce la importancia que tienen las barreras lingüísticas en la intención de escribir en otros idiomas, de forma parcial o total, al grado que se han identificado revistas que indican: “deseamos recibir manuscritos originales que estén escritos en francés, aunque sea en mal francés” (Griffith y Savva, 2002).

Aunque se identifica poca evidencia en la defensa del multilingüismo como propuesta de comunicación científica, esto ha propiciado la creciente incorporación a la comunidad internacional de investigadores, cuya lengua materna no es el inglés, lo cual provoca un debate en usos, normas y modos de entender la comunicación científica. López-Navarro *et al.* (2017) afirman que existen fuertes tendencias a considerar que se debe defender el uso del idioma nativo, así como, otras tendencias proponen el uso del inglés, pero sobre todo, ver la posibilidad de considerar al multilingüismo como opción para mayor acceso a grandes poblaciones científicas y no científicas, tal como lo reconoce Miró *et al.* (2016), quienes consideran que deben tomarse en cuenta los esfuerzos que realizan las revistas científicas de países latinoamericanos incluidas en el Journal Citation Report (JCR) en solicitar artículos en español, inglés e incluso multilingües.

Conclusiones y perspectivas

La elección del idioma que el investigador científico utiliza para comunicar sus hallazgos es un acto voluntario. Cualquier decisión en la elección resulta correcta, especialmente cuando es tomada considerando diversos elementos respecto a lo que resulte más conveniente, básicamente al contemplar aspectos de habilidades y conocimientos, así como de funcionalidad y conveniencia a favor de la comunicación científica y su impacto. Ciertamente es que la elección de la lengua en la comunicación de la ciencia ofrecerá una influencia idiomática distinta, aunque no necesariamente mejor.

En el caso de los investigadores científicos mexicanos, puede resultar lógico considerar solo publicar en su lengua madre (español), con lo cual se fortalecería el posicionamiento de este idioma dentro del ámbito de la comunicación científica global, regularmente dominado por el idioma inglés. Esta perspectiva se propone con mayor viabilidad ante la presión de generar contenidos científicos ajustándose al lenguaje dominante de la ciencia, basada principalmente en indicadores de impacto tangibles, más allá de una convicción personal.

La clasificación del idioma español como lenguaje minorizado de la ciencia, además de impropia, puede resultar relativa en comparación con otros idiomas, cuya dimensión es menor (especialmente aquellos que solo se hablan en un país pequeño o en poblaciones reducidas). Ante la condición idiomática de los países latinoamericanos, especialmente los hispanoparlantes, se vislumbra mayor controversia al publicar en otro idioma (dominante o minorizado) ya que, en la propia lengua, en ocasiones, este acto es considerado como un proceso de fuga de conocimiento, al servicio de otros más que en favor de la contribución a su propio entorno científico y académico.

Referencias

- Alpizar Castillo, R. (2010). El lenguaje y su importancia para la ciencia. *ELA: Estudios de Lingüística Aplicada*, 86-101. <https://doi.org/10.22201/enallt.01852647p.1990.11.117>
- Álvarez de Mon, I. (2001). Problemas en torno a la denominación del lenguaje científico-técnico: ciencia, técnica, tecnología e ingeniería. *Ibérica*, (3), 31-42. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=287026294003>
- Ardanuy, J. (2014). La publicación de artículos en las áreas de ciencias sociales y humanidades analizada a partir de los sistemas de información sobre investigación: el caso de las Universidades de Barcelona y Girona. *Revista Española de Documentación Científica*, 37(1), e035. <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2014.1.1074>
- Arechavala Vargas, R. (2011). Las universidades y el desarrollo de la investigación científica y tecnológica en México: una agenda de investigación. *Revista de Educación Superior*, 158(2), 41-57. <http://www.scielo.org.mx/pdf/resu/v40n158/v40n158a3.pdf>
- Boccia, C. (2010). La sección Introduction: una macro-propuesta. En Castel, V. M., Editor. *El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional* (pp. 79-128). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras. <https://bit.ly/3sn4Njd>
- Bracamontes, Á., & Contreras, Ó. (2011). Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico. El Colegio de Sonora, Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología. <https://bit.ly/3kXACuN>
- Buela-Casal, G., & Zych, I. (2012). How to measure the internationality of scientific publications? *Psicothema*, 24(3), 435-441. <https://bit.ly/3M1qY66>
- Chávez-Zambrano, M., Saltos-Vivas, M.A., & Saltos-Deñas, C.M. (2017). La importancia del aprendizaje y conocimiento del idioma inglés en la enseñanza superior. *Dom. Cien.*, (3), 759-771. <https://bit.ly/3M1H1B5>
- Camargo Mayorga, D. A. (2018). Acerca de las razones por las cuales se citan las publicaciones científicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, XXVI(2), 5-6. <https://doi.org/10.18359/rfce.3858>
- Cañedo Andalia, R. (2001). Ciencia y tecnología en la sociedad: perspectivas histórico conceptuales. *ACIMED*, 9(1), 72-76. <https://bit.ly/3N381Oy>

- Castel, V. M., Editor (2010a). El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- Castel, V. M. (2010b). Generación asistida de abstracts: micro-planificación experimental del "Anuncio de la Investigación". En Castel, V. M., Editor. El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional (pp. 219-268). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras. <https://bit.ly/3yphHOJ>
- Cela Gutiérrez, C. (2018). The translation of actually as an expression of evidentiality: a corpus-based analysis. *Revista de Lenguas para Fines Específicos*, 25(1), 28-39. <https://ojsppdc.ulpgc.es/ojs/index.php/LFE/article/view/1111>
- Cooke, R., & Birch-Becaas, S. (2009). Scientific writing assistance for non-native speakers of English: shifting right on the interactivity spectrum. *Revista Canaria de Estudios Ingleses*, (59), 89-100. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/13935>
- Cortés Vargas, D. (2007). Medir la producción científica de los investigadores universitarios: la bibliometría y sus límites. *Revista de la Educación Superior*, XXXVI(142), 43-65. <https://bit.ly/3PbbVcf>
- Cubilla Zadovsky, B. Y. (2017). Enfoque sociolingüístico sobre la influencia del inglés en el ámbito publicitario de la ciudad de Asunción. *ACADEMO: Revista de Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1)1, 1-18. <https://bit.ly/3kUWsiE>
- Dávalos-Sotelo, R. (2015). Una forma de evaluar el impacto de la investigación científica. *Madera y Bosques*, (21), 7-16. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210422>
- De Pablos Coello, J. M., Túniz López, M., & Mateos Martín, C. (2015). El idioma, como vehículo de la comunicación científica: análisis de la visibilidad e impacto de la investigación a través de la bibliometría de Google. *Estudios sobre el Mensaje Periodístico*, 21(1), 283-298. https://doi.org/10.5209/rev_ESMP.2015.v21.n1.49095
- Delgado López-Cózar, E., Feenstra, R. A., & Pallarés-Domínguez, D. (2020). Investigación em ética y filosofía en España: hábitos, prácticas y percepciones sobre comunicación, evaluación y ética de la publicación científica. *AEEFP; SAF; REF*.
- Díaz, M., Asensio, B., Llorente, G. A., Moreno, E., Montori, A., Palomares, F., Palomo, J., Pulido, F., Senar, J. C., & Telería, J. L. (2001). El futuro de las revistas científicas españolas: un esfuerzo científico, social e institucional. *Revista Española de Documentación Científica*, 24(3), 306-314. <https://doi.org/10.3989/redc.2001.v24.i3.61>
- Diblasí, Á. M. (2010). Estadística para la investigación en Lingüística. En Castel, V. M., Editor. El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional (pp. 269-304). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- Englander, K. (2009). El mundo globalizado de las publicaciones científicas en inglés: Un enfoque analítico para comprender a los científicos multilingües. *Discurso & Sociedad*, 3(1) 2009, 90-118. <https://bit.ly/3vXhCmt>
- Fernández de Bobadilla Lara, N. (2000). Hacia un uso correcto del diccionario en la lectura de textos científicos en inglés. *Encuentro. Revista de Investigación e Innovación en la clase de idiomas*, (11), 96-105. <http://hdl.handle.net/10017/942>
- Figueroa-Saavedra, M. (2009). Estrategias para superar las barreras idiomáticas entre el personal de salud-usuario de servicios de salud pública en España, Estados Unidos y México.

- Comunicación y Sociedad, 12(nueva época), 149-175.
<http://dx.doi.org/10.32870/cys.v0i12.1643>
- Foro Latinoamericano sobre Evaluación Científica – FOLEC (2020). Para una transformación de la evaluación de la ciencia en América Latina y El Caribe: evaluando la evaluación de la producción científica. CLACSO.
- Franco-López, Á., Sanz-Valero, J., & Culebras, J. M. (2016). Publicar en castellano, o en cualquier otro idioma que no sea inglés, negativo para el factor de impacto y citaciones. *Journal of Negative & No Positive Result*, 1(2), 65-70. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2016.1.2.1005>
- Gaibrois Chevrier, C. N. (2016). El olvido de la lengua materna y sus consecuencias en la formación del profesorado de idiomas: intervención y mejora de degradación de la competencia lingüística y docente del profesorado nativo (Tesis Doctorado, Universidad Complutense de Madrid, España). <https://eprints.ucm.es/id/eprint/40471/>
- García Delgado, J.L., Alonso, J.A., & Jiménez, J.C. (2013). El español, lenguaje de la comunicación científica. Fundación Telefónica; Ariel. <https://bit.ly/3965Blr>
- Gómez Nashiki, A., Aliria Jiménez, S., & Morelles Vázquez, J. (2014). Publicar en revistas científicas, recomendaciones de investigadores de ciencias sociales y humanidades. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 19(60), 155-185. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14029405008>
- Griffith, E., & Savva, S. (2002). Cómo se enfrentan a los problemas del idioma las publicaciones de habla no inglesa que tratan el tema de la adicción. *Adicciones*, 14(2), 259-262. <https://doi.org/10.20882/adicciones.503>
- Hernández Bringas, H.M., Martuscelli Quintana, J., Moctezuma Navarro, D., Muñoz García, H., & Norro Robles, J. (2015). Los desafíos de las universidades en América Latina y El Caribe: ¿qué somos y a dónde vamos? *Perfiles Educativos*, XXXVII(147), 202-218. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13233749012>
- Hernández-Chavarría, F. (2007). Fraude en la autoría de artículos científicos. *RevBiomed*, (18), 127-140. <https://bit.ly/3N1mmNp>
- Hlavacka, L. E. (2010). El abstract: perfil de transitividad del “Anuncio en la investigación. En Castel, V. M., Editor. *El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional* (pp. 27-78). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- Ibáñez J.J. (2018). La ciencia en Latinoamérica: tendencias y patrones. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 23-39. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.69409>
- Larenas San Martín, M.E. (2016). La lengua inglesa y su importancia en la investigación en enfermería. *Ciencia y Enfermería*, XXII(1), 7-9. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95532016000100001>
- Laso, N. J., & John, S. (2017). The pedagogical benefits of a lexical database (SciE-Lex) to assist the production of publishable biomedical texts by EAL writers. *Ibérica*, (33), 147-172. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5926082>
- Legrá Martínez, N., Vaca Sánchez, A. C., Sagó Pérez, A., Garzón Gums, E., López Molina, E., & Crespo Rivero, M. V., & Lewis Goulbourne, G. E. (2005). La lengua inglesa y el mundo actual. *Revista Información Científica*, 47(3), 1-7. <https://bit.ly/3vY2F3s>
- Lima Fluminhan, C. S. y SantinaMurgo, C. (2017). Analysis of the scientific production on feedback on teaching English as a foreign language using ERIC database. *ActaScientiarum Education Maringá*, 39(suppl.), 533-543. <https://doi.org/10.4025/actascieduc.v39i0.30889>

- Llácer Llorca, E. V., & Ballesteros, F. (2012). El lenguaje científico, la divulgación de la ciencia y el riesgo de las pseudociencias. *Quaderns de Filologia: Estudis lingüístics*, XVII, 51-67. <https://ojs.uv.es/index.php/qfilologia/article/view/3373>
- López Gómez, E. J., Cabrera Suárez, M. E., Pegudo Sánchez, A. G., & Cruz Camacho, L. (2011). Fenómenos lingüísticos frecuentes que dificultan la Calidad de los textos científicos escritos por profesionales. *EDUMECENTRO*, 3(1), 73-81. <https://bit.ly/38jMcxy>
- López Leyva, S. (2011). Visibilidad del conocimiento mexicano. La participación de las publicaciones científicas mexicanas en el ámbito internacional. *Revista de Educación Superior*, XL(2), 151-165. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60422563010>
- López Leyva, S., & Sandoval Barraza, L.A. (2007). Un análisis de la política de ciencia y tecnología en México (2001-2006). *Estudios Sociales*, 16(30), 136-165. <https://bit.ly/3yCKeD0>
- López-Navarro, I. (2015). Estrategias de producción académica de los investigadores españoles en un contexto globalizado (Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca, España). <http://hdl.handle.net/10366/128220>
- López-Navarro, I., Moreno Fernández, A. I., & Rey Rocha, J. (2017). Dificultades de los investigadores españoles para publicar en revistas internacionales: métricas, editores y multilingüismo. *Teknokultura*, (14), 13-33. <http://dx.doi.org/10.5209/TEKN.54142>
- López-Navarro, I., Moreno, A. I., Burgess, S., Sachdev, I. & Rey-Rocha, J. (2015). Why publish in English versus Spanish? Towards a framework for the study of researchers' motivations. *Revista Española de Documentación Científica*, 38(1): e073. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2015.1.1148>
- López-Navarro, I., Moreno, A. I., & Rey-Rocha, J. (2015). Why do I publish research articles in English instead of my own language? Differences in Spanish researchers' motivations across scientific domains. *Scientometrics*, (103), 939-976. <http://doi.org/10.1007/s11192-015-1570-1>
- Luna-Morales, E., Rusell, J. M., & Mireles-Cárdenas, C. (2012). Evolución e impacto de la investigación en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. *Patrones de publicación y Sistema Nacional de Investigadores*. *Investigación Bibliotecológica*, 26(58), 175-213. <https://bit.ly/3wibmVq>
- Martínez Sáez, A. (2018). Exploring the level of specialisation of a corpus of scientific texts and students' perceptions and needs in an esp context. *Encuentro*, (27), 140-156. <http://hdl.handle.net/10017/37549>
- Matía-Guiu, J., & García-Ramos, R. (2011). Sesgos en la edición de las publicaciones científicas. *Neurología*, (26), 1-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nrl.2010.11.001>
- Mendoza, S., & Paravic, T. (2006). Origen, clasificación y desafíos de las revistas científicas. *Investigación y Posgrado*, 21(1), 49-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65821103>
- Míret, A. M. (2010). El potencial de la estructura genérica de la sección Discussion en Ciencias Médicas. En Castel, V. M., Editor. *El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional* (pp. 129-164). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- Miró, Ó., Fernández-Guerrero, I.M., & González de Dios, J. (2016). Presencia y relevancia de las revistas científicas editadas en lengua española incluidas en el repertorio Journal Citation Reports. *Panace@*, XVII(43), 34-45.
- Moreno, A. I., Rey-Rocha, J., Burgess, S., López-Navarro, I., & Sachdev, I. (2012). Spanish researchers' perceived difficulty writing research articles for English medium journals: the impact of proficiency in English versus publication experience. *Ibérica*, (24), 157-184 http://eprints.rclis.org/29319/1/4_13_24_Moreno.pdf

- Niño-Puello, M. (2013). El inglés y su importancia en la investigación científica: algunas reflexiones. *Rev. Colombiana cienc. Anim.*, 5(1), 243-254. <https://doi.org/10.24188/recia.v5.n1.2013.487>
- Ordorika, I. (2018). Las trampas de las publicaciones académicas. *Revista Española de Pedagogía*, 76(271), 463-480. <https://doi.org/10.22550/REP-3-2018-04>
- París, L. A. (2010). Relaciones retóricas y anafóricas en el abstract. En Castel, V. M., Editor. *El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional* (pp. 195-218). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- París, L. A., & Castel, V. M. (2010). La relación retórica "Solución" en el abstract. En Castel, V. M., Editor. *El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional* (pp. 183-194). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- Pardal-Refoyo, J.L., Azofra-Agustín, E., Ferreras-Fernández, T., Martín-Rodero, H., & Redero-Hernández, Á. (2018). Nuevas vías de publicación para revistas biomédicas: el proyecto de revistas ORL de Ediciones Universidad de Salamanca. En Merlo Vega, J.A., Editor. *Ecosistemas de Acceso Abierto* (229-239). Ediciones Universidad de Salamanca. <http://hdl.handle.net/10366/138568>
- Plaza, L. M., Granadino, B., García-Carpinteiro, E., Albornoz, M., Varrete, R., & Matas, L. (2018). El valor del idioma español en ciencia y tecnología. *RILCE*, 34(2), 716-745. <http://doi.org/10.15581/008.34.2.716-45>
- Rezzano, S. (2010). La regulación de los grados de certeza en la "Interpretación de resultados" de la sección Discussion/Conclusions. En Castel, V. M., Editor. *El artículo científico en inglés: aspectos teórico-descriptivos, pedagógicos y computacionales de una modelización sistémico-funcional* (pp. 165-182). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras.
- Rodríguez Gallardo, A. (2008). Análisis del Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. *Investigación Bibliotecológica*, 22(45), 171-192. <https://bit.ly/3FBiiAW>
- Ruiz de Francisco, I., & Alemán Méndez, S. (2003). Expresión escrita y trabajos científicos. *El Guiniguada*, (12), 149-168. <https://bit.ly/3M5n38D>
- Segarra Saavedra, J., & Plaza Nogueira, A. (2011). Análisis de la pluralidad lingüística en las revistas científicas de Ciencias Sociales de lengua española: la necesaria adaptación de la investigación en español a la diversidad idiomática actual. III Congreso Internacional Latina de Comunicación Social, Universidad de La Laguna. <https://bit.ly/3PiEnci>
- Stecher, P. von (2020). Dime en qué lengua públicas y te diré qué tipo de científico eres: reflexiones de Pío del RíoHortega sobre la lengua, el patriotismo y las comunicaciones científicas. *Boletín de Filología*, LV(1), 419-457. <https://bit.ly/3NaPWjU>
- UNESCO (2015). Informe de la UNESCO sobre la ciencia. UNESCO.
- Universidad Nacional de Córdoba (2019). La ciencia nos habla en español. <https://bit.ly/3w2XNtN>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo Científico

Arsénico y flúor en agua subterránea de Chihuahua: origen, enriquecimiento y tratamientos posibles

Arsenic and fluoride in groundwater from Chihuahua: origin,
enrichment, and possible treatments

**Mélida Gutiérrez^{1*}, María Socorro Espino-Valdés², María Teresa Alarcón-Herrera³,
Adán Pinales-Munguía² y Humberto Silva-Hidalgo²**

¹ Missouri State University, Department of Geography, Geology and Planning, Springfield Missouri, USA, 65897

² Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería, Circuito Universitario, Campus II, 31124 Chihuahua, Chih., México

³ CIMAV- Durango, Calle CIMAV 110, Ejido Arroyo Seco, 34147 Durango, Dgo., México

*Correspondencia: mgutierrez@missouristate.edu (Mélida Gutiérrez)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.828>

Recibido: 11 de agosto de 2021; **Aceptado:** 17 de septiembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

La presencia de arsénico (As) y flúor (F) en agua subterránea es un problema global que afecta a una gran cantidad de personas. Estudios al respecto reportan el contenido de As y F en agua, rocas y sedimentos, así como los factores que causan su enriquecimiento. Otras investigaciones reportan las maneras de maximizar la eficiencia de los diversos tratamientos de agua. La ingesta crónica de agua con niveles altos de As y F causa graves trastornos a la salud. Es entonces necesario encontrar tratamientos efectivos que reduzcan el contenido de estos contaminantes dentro de las condiciones y recursos disponibles. En el presente artículo se hace una síntesis de la información reportada sobre el contenido de As y F en agua subterránea y las condiciones que causan su enriquecimiento. Se compara el caso del estado de Chihuahua con otras zonas que cuentan con geología y clima similares. Se puntualizan tratamientos aplicados para su eliminación del agua de consumo y se discuten procesos de remoción no-convencionales y a escalas de laboratorio que podrían utilizarse con éxito.

Palabras clave: arsénico, fluorosis, acuífero de aluvión, minerales secundarios, ósmosis inversa.

Abstract

Arsenic (As) and fluoride (F) in groundwater represent a global problem since their presence affects a large number of people. Studies addressing this problem commonly report the content of these elements in water, rock, or sediments, their origin, or the conditions responsible for their enrichment. Other studies are dedicated on investigating how to maximize the efficiency of water treatments. Chronic exposure to drinking water with high As and F can cause severe health problems and thus finding effective treatments to reduce their content is important. The present article summarizes the findings about As and F content in groundwater and the conditions that cause their enrichment. The findings obtained for the state of Chihuahua are compared to other areas with similar geology and climate. The paper describes water treatments used by water supply systems and discusses other non-conventional and laboratory-scale removal processes that seem promising.

Keywords: arsenic, fluorosis, alluvial aquifer, secondary minerals, reverse osmosis

Introducción

El arsénico (As) y el flúor (F) son considerados como los contaminantes más importantes a nivel mundial debido al gran número de personas expuestas a niveles tóxicos en agua de consumo (Hug et al., 2020; Podgorski y Berg, 2020; Shaji et al., 2021). La población global expuesta a altas concentraciones de As se estima entre 90 y 220 millones (Podgorski y Berg, 2020) y la de Latinoamérica en 14 millones (Kumar et al., 2019). La enorme cantidad (>200,000) de datos sobre contenido de estos contaminantes en agua subterránea reportados en los últimos años (Podgorski y Berg, 2020) han permitido la construcción de mejores mapas de predicción probabilística a escala global, así como identificar las condiciones geológicas y climáticas responsables de su enriquecimiento, una herramienta sumamente útil para identificar las áreas donde el agua de consumo presenta una amenaza a la salud pública.

México es uno de los países con altos niveles de estos contaminantes, en especial la zona norte del país, así como algunos lugares geotermales de la región central (Armienta y Segovia, 2008; Alarcón-Herrera et al., 2020; Bundschuh et al., 2020, 2021).

En algunas fuentes de agua subterránea del estado de Chihuahua se han detectado concentraciones de As y F por arriba de los límites permisibles para agua potable en México (0.025 mg L⁻¹ As, y 1.5 mg L⁻¹ F) establecidos en la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 (Mahlknecht et al., 2008; Espino-Valdés et al., 2009; Reyes-Gómez et al., 2013; González-Horta et al., 2015; Alarcón-Herrera et al., 2020). El contenido de As y F puede variar en función de la ubicación del pozo, su profundidad y los gastos de extracción. Dentro de los acuíferos reportados con más alto contenido de As y F destacan el de Jiménez-Camargo, donde González-Horta et al. (2015) detectaron valores de hasta 0.419 mg L⁻¹ de As y 14.4 mg L⁻¹ de F, el de Aldama-San Diego con concentraciones de 0.030 mg L⁻¹ As y 4.6 mg L⁻¹ F y el de Laguna de Hormigas (cuenca cerrada) con 0.394 mg L⁻¹ As y 7.0 mg L⁻¹ F (Gutiérrez et al., 2017). Por otra parte, Barrera (2008) y Rascón (2011) reportaron altas concentraciones de arsénico y flúor en el acuífero Meoqui-Delicias, en el cual destacan particularmente las zonas norte y noroeste del mismo con concentraciones entre 0.009 mg L⁻¹ y 0.316 mg L⁻¹ As y entre 0.91 mg L⁻¹ y 9.4 mg L⁻¹ F. Algunas de las localidades con mayores problemas de calidad en el agua subterránea debido a los elementos mencionados son las ubicadas en los municipios de Julimes, Meoqui y Rosales, dentro de dicho acuífero (Espino-Valdés et al., 2009).

El presente estudio ofrece una síntesis del contenido del As y el F en agua subterránea en el estado de Chihuahua, su posible origen, los factores geológicos, climáticos y humanos que causan su enriquecimiento, así como de los tratamientos que se han implementado para reducir su contenido, incluyendo algunos tratamientos menos convencionales o que se encuentran a nivel laboratorio o planta piloto, y que se reportan como potencialmente efectivos. Se comparan estos resultados con los de otras regiones del mundo con altas concentraciones de As y F y con geología y clima similares.

2. ¿De dónde provienen el As y el F?

Varios estudios realizados en México, tanto para la zona norte como para áreas geotermales, concuerdan en que el origen de As y F es primordialmente geogénico (Armienta y Segovia, 2008; Reyes-Gómez *et al.*, 2013; Alarcón-Herrera *et al.*, 2020). Por consiguiente, la fuente de origen de estos elementos está fuertemente ligada a la geología y mineralogía del área. Estudios recientes ponderan la relación entre origen geogénico de As y cuencas de país, depresiones en la corteza terrestre al margen de cadenas montañosas, lo cual explica el enriquecimiento de As en algunas zonas de arsenicismo reconocidas, tales como el norte de India, norte-centro de México, y el Altiplano Andino (Mukherjee *et al.*, 2019; Bundschuh *et al.*, 2020).

El origen geogénico del As y F ha sido reportado por varios investigadores en Latinoamérica (Alarcón-Herrera *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2019; Bundschuh *et al.*, 2020; Morales-Simfors *et al.*, 2020) y Asia (Cao *et al.*, 2021; Hug *et al.*, 2020; Rahman *et al.*, 2021; Shaji *et al.*, 2021). Es interesante observar que en estos y otros estudios se reportan características similares a la geología del estado de Chihuahua; entre ellas, la presencia de rocas volcánicas ricas en sílice y acuíferos de aluvión de edad geológica reciente.

El origen geogénico se divide en dos tipos: primario y secundario. El origen primario se refiere a la disolución de la roca original, mientras que el secundario, al contaminante retenido en minerales secundarios, los cuales resultan del intemperismo de la roca original. Entre ellos se encuentran los óxidos de hierro y las arcillas, las cuales, junto con materia orgánica, tienen una gran cantidad de sitios de adsorción en su superficie por lo que atraen fuertemente a metales, así como al As y F. Por consiguiente, dichos elementos se adsorben preferentemente en minerales secundarios una vez que éstos se desprenden de la roca original (Scanlon *et al.*, 2009; Banning, 2020).

Muchos de los acuíferos en Chihuahua son de tipo libre y están compuestos de material de aluvión, que llena las cuencas en la zona geológica denominada Sierras y Cuencas y que predomina en las zonas áridas y semiáridas del estado. El material de aluvión es un material granular que se genera de la erosión e intemperismo de las rocas circundantes en un proceso que toma de miles a millones de años (Reyes-Cortés *et al.*, 2014). Dicho material está compuesto de fragmentos de roca y material secundario (Reyes-Gómez *et al.*, 2013). Un esquema simplificado de esto se presenta en la Figura 1. Entre las rocas que afloran en Chihuahua, riolita, ignimbrita, y toba volcánica son las más abundantes, seguidas por lutita, piedra caliza, yeso, conglomerado y basalto (Reyes-Cortés *et al.*, 2014).

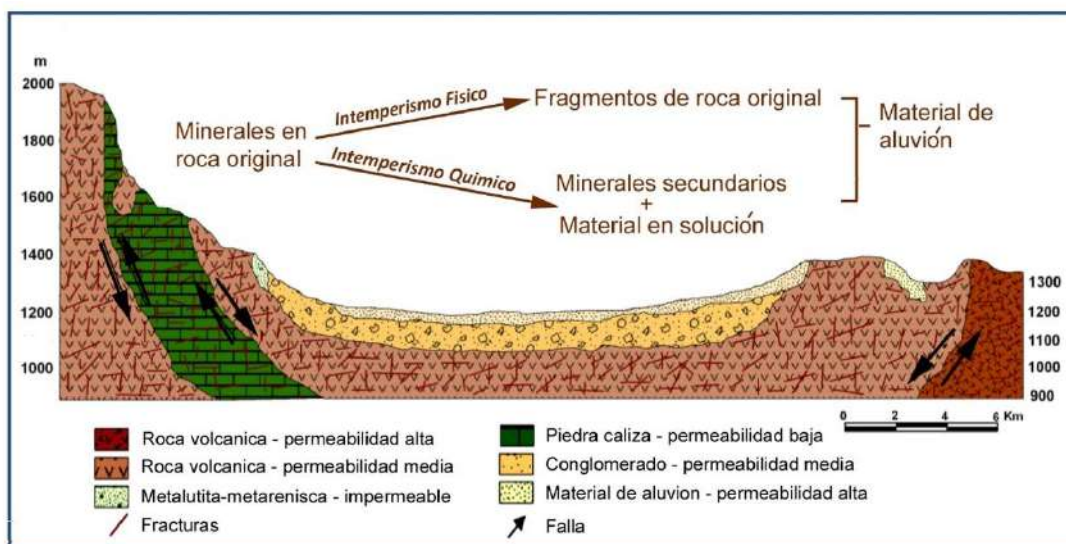


Figura 1. Acuífero Aldama-San Diego y modelo conceptual simplificado de la presencia de As y F en los acuíferos de aluvión en el área de estudio (modificado de CONAGUA, 2015).

Figure 1. Aldama-San Diego aquifer and simplified conceptual model of the presence of As and F in alluvial aquifers in the study area (modified from CONAGUA, 2015).

En el proceso de formación de las rocas, la cristalización por lo general es lenta. Cuando se trata de rocas volcánicas, el enfriamiento rápido del magma ocasiona que los minerales que conforman dichas rocas sean muy pequeños. De hecho, se observan tamaños microscópicos en el caso de la riolita y ausencia de cristalización en el vidrio volcánico en el caso de la ignimbrita. Aún con cristales muy pequeños o ausencia de cristales, los elementos presentes en el magma (como arsénico y flúor) continúan formando parte de la roca, sólo que es más difícil identificarlos. Por tal motivo, en el caso de riolita se requiere el uso de microscopía, así como el empleo de métodos químicos, luego de completa disolución, cuando se trata de ignimbrita. En el caso de análisis químico, éste se dificulta por el alto contenido de sílice y requiere de un método donde la roca se disuelva completamente por fusión, para ser luego analizada por espectrometría por plasma de acoplamiento inductivo (ICP), en el caso de As, y un electrodo selectivo para el caso de F (Nicolli et al., 2010; Wallace et al., 2010). Análisis realizados en vidrio volcánico de un depósito aluvial en Tucumán, Argentina, muestran concentraciones de 6 mg kg⁻¹ As y 722 mg kg⁻¹ F (Nicolli et al., 2010). Los procesos mencionados arriba explican la presencia de As y F en forma dispersa y relativamente homogénea sobre un área extensa, y no necesariamente confinados en vetas conteniendo minerales de fluorita o arsenopirita, las cuales son menos comunes en Chihuahua. En cambio, Coahuila y San Luis Potosí cuentan con depósitos minerales importantes de fluorita (Huspeni et al., 1984; González-Partida et al., 2019).

3. Especiación química, toxicidad, y límites permisibles

El arsénico inorgánico presente en el agua con pH entre 7 y 9 se puede encontrar en dos formas; en la forma oxidada el As se encuentra como ion arsenato HAsO₄⁻², donde As tiene una valencia de +5 [As(V)], y en la forma reducida como arsenito H₃AsO₃, donde As tiene una valencia de +3 [As(III)]. Estas formas dependen del estado de óxido/reducción y del pH (Figura 2a), siendo el ion

arsenito, As(III), el más tóxico (Del Razo et al., 1990). Estudios en acuíferos de Chihuahua reportan condiciones de oxidación y pH ligeramente alcalinos en la mayoría de los pozos (Mahlknecht et al., 2008, Reyes-Gómez et al., 2013, González-Horta et al., 2015) y As(V) como la especie química dominante.

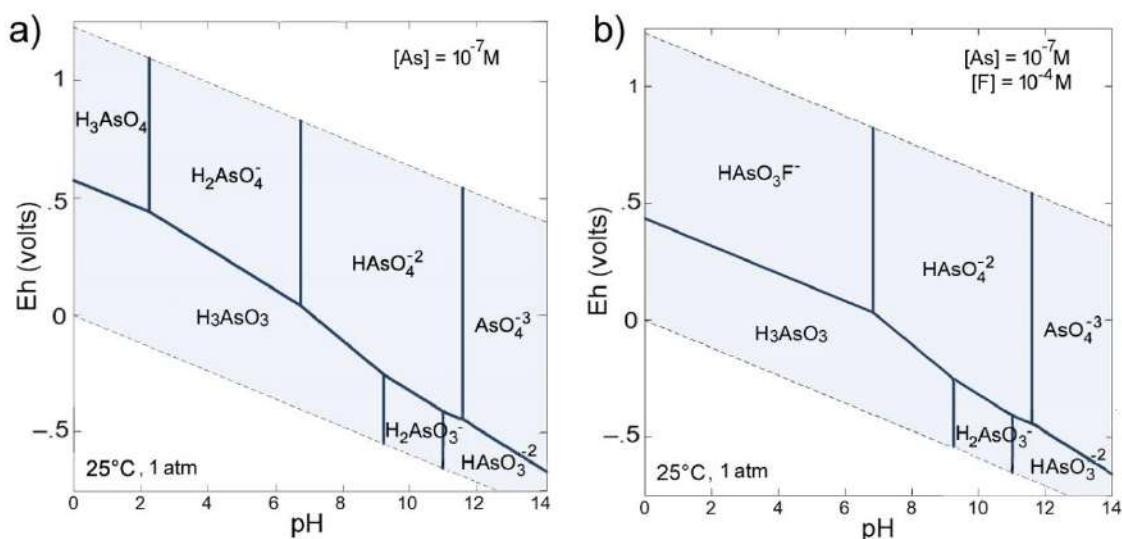


Figura 2. (a) Especiación química de As en un sistema acuoso 10^{-10} M As. Entre pH 4 y 9, As(III) se encuentra como H_3AsO_3 , un compuesto sin carga, mientras que As(V) se encuentra como ion complejo con carga negativa; (b) Especiación química de As (10^{-10} M) en presencia de F (10^{-4} M). Elaboración propia.

Figure 2. (a) Chemical speciation of As in a 10^{-10} M As aqueous system. Between pH 4 and 9, As(III) is found as H_3AsO_3 , an uncharged compound, while As(V) is found as a negatively charged complex ion; (b) Chemical speciation of As (10^{-10} M) in the presence of F (10^{-4} M). Own elaboration.

La forma orgánica, As(0), es considerada la menos tóxica. Esta forma está presente en vegetales como el arroz y alimentos avícolas, entre otros. Dichas plantas, y los animales que se alimentan de ellas, pueden acumular grandes cantidades de As(0) sin representar por ello un peligro para la salud; sin embargo, las condiciones bajo las cuales el As(0) se podría transformar en una forma inorgánica tóxica [As(III) o As(V)] es un tema del que se conoce poco y se recomienda investigar a mayor profundidad (Rehman *et al.*, 2021). En el caso de F, éste está presente primordialmente como ion libre, o fluoruro F^- , y sólo en pH ácidos forma un ion complejo con el As (Figura 2b).

Los límites recomendados y/o permisibles para estos elementos en agua potable se han determinado en base a estudios de toxicidad (Ahmad y Bhattacharya, 2019; Jiménez *et al.*, 2019). Estos límites varían de acuerdo con cada país. El valor límite para As en agua potable recomendado por la Organización Mundial de la Salud (2018) y establecido como límite máximo permisible en muchos países es 0.010 mg L^{-1} . Estudios epidemiológicos confirman que la ingesta de agua con concentración mayor a 0.010 mg L^{-1} As causa efectos nocivos a la salud como lesiones en la piel, principalmente en las palmas de pies y manos, cáncer (pulmón, riñón, hígado), así como afectaciones a los sistemas nervioso, inmunológico y endocrino (Ahmad y Bhattacharya, 2019; Jiménez *et al.*, 2019; Rehman *et al.*, 2021). El arsénico se bioacumula en el ser humano, y puede ser detectado en muestras de cabello, uñas y orina (Monroy-Torres *et al.*, 2009; González-Horta *et al.*, 2015, Jiménez *et al.*, 2019).

Tabla 1. Origen, iones concurrentes, y límites permisibles en México y otros lugares en dos regiones afectadas por arsénico (As): América Latina y Asia. El origen geogénico incluye el material principal primario y material principal secundario; O-Fe representa a los óxidos e hidróxidos de hierro y de manganeso.

Table 1. Origin, concurrent ions, and allowable limits in Mexico and elsewhere in two regions affected by arsenic (As): Latin America and Asia. Geogenic origin includes primary parent material and secondary parent material; O-Fe represents iron and manganese oxides and hydroxides.

Área de estudio	As y otros iones	Origen: material principal primario, secundario	Límite, mg L ⁻¹ As	F	Referencias
<i>América Latina</i>					
México, zona norte**	As, F, Li, U	Geogénico: riolita, O-Fe Antrópico: extracción de agua subterránea	0.025	1.5	Armienta y Segovia, 2008; Reyes-Gómez et al., 2013; Navarro et al., 2017
México, zonas hidrotermales	As, F, U, Li, Na, Mo	Geogénico: roca volcánica, O-Fe; Antrópico: extracción de agua subterránea	0.025	1.5	Knappett et al., 2020 Morales-Simfors et al., 2019
Las Pampas, Argentina**	As, F, U, V, B	Geogénico: vidrio volcánico y loess, O-Fe	0.050*	1.5	Bundschuh et al., 2020 Nicolli et al., 2010
Perú	As, Cd, Pb	Geogénico: roca volcánica, salmuera. Antrópico: Minería	0.050	1.5	Bundschuh et al., 2020
Brasil	As	Antrópico: Minería, residuos agrícolas.	0.010	1.5	Bundschuh et al., 2020
<i>Asia</i>					
Bangladesh (Bengala)	As	Geogénico: arcilla y O-Fe Antrópico: petróleo	0.050	1.5	Hug et al., 2020 Huq et al., 2020
Norte de India	As, U	Geogénico: arcilla y O-Fe Antrópico: fertilizantes	0.050	1.5	Kumar et al., 2020 Shaji et al., 2021
Norte de China**, Mongolia**	As, F	Geogénico: roca metamórfica y aguas hidrotermales, O-Fe	0.050	1.5	He et al., 2020

*límite de 0.050 mg L⁻¹ por reducirse a 0.010 mg L⁻¹ en un futuro cercano (Bundschuh et al., 2020);

** zona árida o semiárida

*limit of 0.050 mg L⁻¹ to be reduced to 0.010 mg L⁻¹ in the near future (Bundschuh et al., 2020);

** arid or semi-arid zone

En algunos países, entre ellos Rusia, Bangladesh, India y Pakistán, el límite permisible para agua potable es 0.050 mg L⁻¹ As (Rehman et al., 2021). En América Latina se ha reportado un alto contenido de As en 15 países (Bundschuh et al., 2020). Los límites permitidos son 0.050 mg L⁻¹ As para Argentina y Uruguay, 0.025 mg L⁻¹ As para México, y 0.010 mg L⁻¹ As para Perú, Guatemala y El Salvador (Kumar et al., 2019). Argentina está en proceso de cambiar oficialmente su límite a

0.010 mg L⁻¹ As (Bundschuh et al., 2020). Los estudios generalmente realizan comparaciones usando tanto 0.010 mg L⁻¹ como 0.050 mg L⁻¹ As. Por ejemplo, Podgorski y Berg (2020) utilizan como referencia valores > 0.010 mg L⁻¹ As y > 0.050 mg L⁻¹ As en sus mapas y modelo global de As. Cabe mencionar como dato extraordinario que existen comunidades en Bolivia y Argentina (altiplano) que no presentan efectos tóxicos al consumir agua con alto contenido de arsénico. Aparentemente, sus organismos han desarrollado una resistencia natural a los efectos nocivos de As (Schlebusch et al., 2015; Bundschuh et al., 2020).

En el caso de F, el valor límite de 1.5 mg L⁻¹ F es utilizado en muchos países y se asocia con la concentración a la cual aparece coloración en los dientes, lo que es considerado un efecto de tipo cosmético (fluorosis dental) y no una enfermedad. En contraste, la fluorosis ósea ocurre por ingesta crónica de agua conteniendo concentraciones mayores a 4 mg L⁻¹ F (Edmunds et al., 2013). La fluorosis ósea ocasiona deformidad en los huesos y, eventualmente, afectación a órganos vitales, lo que puede llegar a ser de graves consecuencias. La fluorosis es irreversible. Concentraciones elevadas de F afectan a niños y a madres embarazadas (Edmunds et al., 2013). Los estudios realizados sobre fluorosis generalmente basan sus resultados en los límites de 1.5 mg L⁻¹ F y 4.0 mg L⁻¹ F, o reportan ambos valores (He et al., 2020).

Tabla 2. Contenido de As y F reportado para aguas subterráneas en el estado de Chihuahua. Concentraciones de As y F en mg L⁻¹, NR = no se reporta; < LD menor que el límite de detección.

Table 2. As and F content reported for groundwater in the state of Chihuahua. As and F concentrations in mg L⁻¹, NR = not reported; < LOD less than the detection limit.

Acuífero, Zona	No. muestras	0.025 As	1.5 F	Límite permisible Referencia
Tabalaopa-Aldama, Zona centro	6	0.008 - 0.027	2.9 - 3.7	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017
Aldama-San Diego , Zona centro	22	0.004 - 0.042	1.1 - 4.6	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017
Laguna Hormigas, Zona centro	12	0.001 - 0.394	1.8 - 5.7	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017
Tabalaopa-Aldama, Jiménez- Camargo, Parral-Valle de Verano y otros. Zona centro- sur	445	0.0001 - 0.420	< LD -14.4	González-Horta <i>et al.</i> , 2015
Meoqui-Delicias, Zona centro- sur	61	< LD - 0.277	NR	Espino-Valdés <i>et al.</i> , 2009
El Sauz-Encinillas, Tabalaopa- Aldama, Chihuahua- Sacramento, Aldama-San Diego, Zona centro	45	< LD - 0.344	< LD -9.7	Mahlknecht <i>et al.</i> , 2008
27 comunidades en todo el estado excepto la Sierra Madre Occidental	NR	< LD - 0.100	0.5 - 3.3	Westerhoff <i>et al.</i> , 2004

4. Procesos de remoción de As y F

Los procesos de remoción de As y F, también identificados como tratamientos, tienen como objetivo reducir el contenido de dichos elementos a niveles por debajo de los límites permisibles en la normatividad para el agua de consumo. Los procesos de remoción utilizados son primordialmente de tipo fisicoquímico. Otra alternativa puede ser la dilución con agua de buena calidad. En zonas urbanas, la responsabilidad de atenuar las concentraciones de As y F recae en los organismos encargados de la distribución del agua para consumo humano, los que utilizan generalmente tratamientos eficientes y de alta tecnología, como la ósmosis inversa. En zonas rurales o apartadas de las poblaciones principales, el problema es más difícil de solucionar (Kumar et al., 2019). Algunas opciones a corto plazo en poblaciones rurales incluyen la colección de agua de lluvia para mezclar con agua de pozo contaminada, evitar el uso de agua contaminada en la preparación de alimentos y la aplicación de tratamientos de remoción de As y F a escala familiar (Maity et al., 2021).

De acuerdo con el tipo de proceso que se lleva a cabo, los tratamientos fisicoquímicos se clasifican en oxidación, precipitación, intercambio iónico, filtración con membranas (ósmosis inversa, nanofiltración, electrodiálisis) y adsorción (Rangel-Montoya et al., 2015; Kumar et al., 2019). Una gran cantidad de estudios se han realizado en los últimos años sobre las diferentes maneras en que cada uno de estos tratamientos puede incrementar su eficiencia y accesibilidad, tanto en sistemas urbanos como en comunidades rurales o de escasos recursos (Kumar et al., 2019; Robledo-Peralta et al., 2021). De acuerdo con Rangel-Montoya et al. (2015), en la consideración del uso de procesos de remoción de los contaminantes, es sumamente importante incluir a los habitantes de la comunidad para que el método seleccionado tenga aceptación. Los resultados se puedan dar a conocer en diferentes niveles, ya sea como reportes de difusión a la comunidad (Scharp et al., 2018), o como comunicación científica y tecnológica en libros, artículos científicos, o colección especial de artículos en una revista (Maity et al., 2021).

Para los sistemas de distribución de agua potable, el método de remoción de As y F más utilizado en México es el de ósmosis inversa (Espino-Valdés, 2019; Olmos-Márquez et al., 2018, 2020). Este tratamiento se basa en la aplicación de una presión alta para que el agua libre de iones disueltos pase a través de membranas semipermeables de poros muy pequeños, logrando así su desmineralización. De acuerdo con Rangel-Montoya et al. (2015) se recomienda una oxidación previa para convertir el As(III) a As(V), ya que As(III) interfiere con el funcionamiento de las membranas. Además de As y F, las membranas retienen otros iones como sulfato, nitrato, sodio y dureza (Espino-Valdés, 2019). De acuerdo con Olmos-Márquez et al. (2020) la ósmosis inversa es un proceso confiable con eficiencias de remoción de iones > 97%; sin embargo, es caro y produce aguas de desecho (rechazo) con una concentración alta de sales, cuya disposición final es problemática ya que frecuentemente requiere de la consideración de un proceso de remoción antes de ser liberada a un cuerpo receptor. Sin embargo, en el caso de la aplicación de este método exclusivamente a volúmenes de agua suficientes para dotación de agua para bebida o preparación de alimentos en comunidades rurales, colonias urbanas, o inclusive a nivel doméstico, los costos de operación son bajos, dado que el volumen de agua tratado es pequeño en comparación con el caudal total de extracción de la fuente de agua original (Espino-Valdés, 2019).

En el estado de Chihuahua, las primeras plantas de ósmosis inversa para suministro de agua potable se instalaron en 1999. A la fecha, existen más de 320 de estos sistemas en comunidades donde el agua excede los límites de As, F y salinidad, las cuales se ubican principalmente en zonas áridas y semiáridas del estado (Espino-Valdés, 2019).

Se han publicado diversos estudios relativos a los procesos de tratamiento que se pueden utilizar para sustituir o usar en combinación con el de ósmosis inversa, los cuales incluyen adsorción en materiales como cáscara de nuez (Ali et al., 2020), cáscara de huevo (Andrade et al., 2021), partículas de hidrogel (Burillo et al., 2021) y destilación solar (Espino-Valdés et al., 2019). Los dos últimos tratamientos se han realizado con éxito en el estado de Chihuahua a nivel de planta piloto. Robledo-Peralta et al. (2021) compararon la remoción concurrente de As y F en tres tratamientos a escala de laboratorio en Durango: electrocoagulación, adsorción en cáscara de cítricos y adsorción en nanopartículas magnéticas. Los tres tratamientos redujeron el contenido de As y F de manera significativa; el mejor de ellos fue el de electrocoagulación, con el que se alcanzó una remoción de 97% de As y 90% de F.

Un proceso estudiado para reducir la toxicidad del arsénico consiste en añadir ácido fólico (folato), vitamina B y cisteína a la dieta (Freeman, 2009). Estos compuestos, en un proceso conocido como metilación, convierten el arsénico inorgánico en ácido monometilarsónico, el que a su vez se convierte en ácido dimetilarsínico; este último es un compuesto menos tóxico que es eliminado por vía urinaria (Freeman, 2009; Rehman et al., 2021).

La metilación de As en agua y suelo también se lleva a cabo por bacterias resistentes a concentraciones altas de As; por ejemplo, Proteobacteria, Nitrospirae y Methanomicrobia, las que convierten As(III) y As(V) a ácido dimetilarsínico. Su presencia en acuíferos sugiere que este proceso podría usarse como un tratamiento de biorremediación para transformar formas tóxicas de As en formas menos tóxicas (Wang et al., 2018). Las bacterias que oxidan el arsénico de As(III) a As(V) también reducen su toxicidad, y a la vez mejoran la efectividad de tratamiento de ósmosis inversa (Rangel Montoya et al., 2015). Estos procesos (oxidación y metilación) se pueden hacer más efectivos por medio de cepas genéticamente modificadas (Rodríguez Martínez et al., 2017). El proceso de oxidación por biorremediación tiene como ventaja que, en contraste con la oxidación química, no se producen compuestos nocivos durante su proceso (Rangel-Montoya et al., 2015). Estos estudios de posible biorremediación se han realizado a nivel laboratorio.

5. Retos y oportunidades para investigación futura

A pesar de la gran cantidad de información que se ha generado sobre la presencia de As y F en algunos acuíferos del norte de México, existen vacíos importantes en el conocimiento de varios aspectos enunciados en las secciones anteriores (aspectos de salud, geológicos, físicos, químicos, etc.) que se requieren para determinar los tratamientos y las estrategias requeridas para asegurar el suministro de agua potable tanto en zonas urbanas como rurales. Estos vacíos son retos para estudios futuros; los más básicos se enumeran a continuación:

- a) Realizar estudios de calidad de agua enfocados a la presencia de arsénico y flúor en diversos acuíferos del estado de Chihuahua que abarquen mayores extensiones territoriales, así como la determinación de las variaciones de calidad con respecto al tiempo. Dichas investigaciones deben contemplar toda la información posible de carácter hidrogeológico, geológico, naturaleza de los suelos, usos del agua, tasas de recarga y extracción, etc. Los resultados deberán derivar en un sistema de información geográfica

- disponible para investigadores y autoridades responsables de la administración de los recursos hidrológicos en la región.
- b) Efectuar estudios epidemiológicos y de toxicidad debido a la presencia sola o combinada de As y F, así como la identificación de zonas de vulnerabilidad en las que se relacionen las concentraciones de dichos elementos con la calidad del agua de abastecimiento en pequeñas poblaciones y por sectores en grandes ciudades afectadas por la presencia de dichos elementos.
 - c) Abundar en la investigación sobre procesos de tratamiento del agua para remoción de arsénico, flúor y otros indeseables en el agua de consumo, especialmente en aquéllos que puedan aplicarse a escala familiar en pequeñas zonas rurales, así como modificaciones que incrementen la eficiencia y reduzcan el costo de operación de los sistemas ya existentes en zonas urbanas. Además, considerar su implementación en lugares identificados como zonas de alto riesgo, en las que no hayan sido instaurados programas de mitigación a dicha problemática.

6. Conclusiones

Se revisaron artículos y reportes con información sobre el contenido de arsénico y fluoruro en agua subterránea en algunas áreas donde se han reportado niveles de estos contaminantes superiores a los que marcan como límites las normas para el agua de consumo o potable. La revisión de información se refiere en especial al estado de Chihuahua, anexando información sobre otras regiones del mundo con geología y clima similar. Se encontraron otras áreas, entre ellas las Pampas en Argentina y el norte de China, con condiciones similares al estado de Chihuahua en cuanto a concurrencia de arsénico y fluoruro, así como el hecho de que los sitios se caracterizan por ser acuíferos libres constituidos por material granular (aluvión) geológicamente reciente, y un material primario procedente primordialmente de roca volcánica (riolita y vidrio volcánico), así como también de roca sedimentaria y metamórfica. Para dichos acuíferos también se reportan contenidos importantes de minerales secundarios (óxidos e hidróxidos de hierro, arcillas). En estos minerales secundarios se adsorben preferentemente tanto el As como el F, los cuales pueden permanecer adsorbidos por largo tiempo hasta que se desprenden al disolverse, o bajo algún cambio drástico de condiciones químicas, siendo ésta la forma en la que se integran al agua subterránea.

Debido a los problemas de salud que pueden ocasionar estos elementos o sus compuestos, es preciso reducir su concentración ya sea por dilución con agua no contaminada, algún tratamiento fisicoquímico, o una combinación de ambos. El tratamiento convencional para sistemas de distribución de agua potable es el de ósmosis inversa; sin embargo, otras opciones están siendo investigadas para hacer este proceso más eficiente o mediante tratamientos alternos. Se reportan avances en estudios a escala laboratorio en métodos fisicoquímicos, como electrocoagulación, y métodos biológicos usando cepas de bacterias que reducen la toxicidad del arsénico.

En zonas apartadas o rurales que no están conectadas a la red de distribución del agua, el problema requiere ser abordado como un mínimo con tratamientos a escala familiar y fáciles de operar. Estos tratamientos todavía no son una práctica común en el estado de Chihuahua, pero hay algunos avances en estudios a nivel de planta piloto para mejorar la calidad del agua en estas áreas; por ejemplo, por medio de un destilador solar.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de interés.

Referencias

- Ahmad, A., P. Bhattacharya. 2019. Arsenic in drinking water: is 10 µg/L a safe limit? *Curr. Pollut. Rep.* 5, 1–3. <https://doi.org/10.1007/s40726-019-0102-7>
- Alarcón-Herrera, M.T., D.A. Martín-Alarcón, M. Gutiérrez, L. Reynoso-Cuevas, A. Martín-Domínguez, M.A. Olmos Márquez, J. Bundschuh. 2020. Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. *Sci. Total Environ.* 698, 1234168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>
- Alarcón-Herrera, M.T., J. Bundschuh, B. Nath, H. B. Nicolli, M. Gutiérrez, et al. 2013. Co-occurrence of arsenic and fluoride in groundwater of semi-arid regions in Latin America: Genesis, mobility and remediation. *J. Hazard. Environ.* 262, 960-969. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.08.005>
- Ali, S., M. Rizwan, M.B. Shakoor, A. Jilani, R. Anjum. 2020. High sorption efficiency for As(III) and As(V) from aqueous solutions using novel almond shell biochar, *Chemosphere*, 243, 125330. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125330>
- Andrade, I.C., I.C. Filardi Vasquez, J.C. Teodoro, M.B. Bueno Guerra, J.S. da Silva Carneiro, et al. 2021. Fast and effective arsenic removal from aqueous solutions by a novel low-cost eggshell byproduct. *Sci. Total Environ.* 783, 147022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147022>
- Armienta, M.A., N. Segovia. 2008. Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environ. Geochem. Health* 30, 345-353. <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9167-8>
- Banning, A. 2020. Geogenic arsenic and uranium in Germany: Large-scale distribution control in sediments and groundwater, *J. Hazard. Mat.* 405(4):124186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124186>
- Barrera, Y. 2008. Estudio hidrogeoquímico y de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua. Tesis de Maestría en Hidrología Subterránea. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Bundschuh, J., M.A. Armienta, N. Morales-Simfors, M.A. Alam, D.L. López, V. Delgado-Quezada, S. Dietrich, J. Schneider, J. Tapia, O. Sracek, et al. 2020. Arsenic in Latin America: new findings on source, mobilization and mobility in human environments in 20 countries based on decadal research 2010-2020. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 51(16), 1727–1865. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1770527>
- Burillo, J.C., L. Ballinas, G. Burillo, E. Guerrero-Le, D. Lardizabal-Gutiérrez, H. Silva Hidalgo. 2021. Chitosan hidrogel synthesis to remove arsenic and fluoride ions from groundwater. *J Hazard. Mat.* 417, 126070. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126070>
- Cao, H., X. Xianjun, Y. Wang, Y. Deng. 2021. The interactive natural drivers of global geogenic arsenic contamination of groundwater. *J. Hydrol.* 597:126214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126214>
- CONAGUA, 2015. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0836 Aldama-San Diego, Estado de Chihuahua, México: Conagua. 26 pp. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/aguasubterranea/pdf/dr_0836.pdf
- Del Razo, L.M., M.A. Arellano, M.E. Cebrian. 1990. The oxidation states of arsenic in well water from a chronic arsenicism area of northern Mexico. *Environ. Pollut.* 64, 143-153. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(90\)90111-o](https://doi.org/10.1016/0269-7491(90)90111-o)
- Edmunds, W.M., P. L. Smedley, O. Selinus. 2013. Fluoride in natural waters. In *Essentials of Medical Geology*, 2nd Edition, B. Alloway, J.A. Centeno, R.B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh, P.L. Smedley (Eds.) Springer New York (pp. 311-336). http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_13
- Espino-Valdés, M.S., Y. Barrera-Prieto, E. Herrera-Peraza. 2009. Presencia del arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias, del estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* 3:8–18. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/739/863>
- Espino-Valdés, M.S. 2019. Calidad del agua subterránea en el estado de Chihuahua: retos y logros en la búsqueda de soluciones sustentables para el agua de consumo, En *Problemáticas del agua y medidas*

- sustentables en estados desérticos de México, caso Chihuahua, Dévora Isiordia G. E. y Cervantes Rendón E. (Eds.) Publicaciones Instituto Tecnológico de Sonora, Hermosillo, Son. México (pp. 63-70). <https://bit.ly/3L7blB>
- Espino-Valdés, M.S., C. Hernández-Herrera, A. Pinales-Munguia, M. L. Ballinas-Casarrubias. 2019. Utilización de un sistema de destilación solar para remoción de arsénico y flúor en agua subterránea destinada al consumo humano. *Rev. Ing. Bioméd. Biotecnol.* 3-8: 14-22. <http://dx.doi.org/10.35429/IBEB.2019.8.3.14.22>
- Freeman, K. 2009. Nutrientes protectores contra la toxicidad del arsénico. *Salud Públ. Mex.* 51, (4), 354-355. <https://bit.ly/3M66lpn>
- González-Horta, C., L. Ballinas-Casarrubias, L., B. Sánchez-Ramírez, M.C. Ishida, A. Barrera-Hernández, D. Gutiérrez-Torres, O.L. Zacarías, R.J. Saunders, Z. Drobná, M.A. Méndez, et al. 2015. A concurrent exposure to arsenic and fluoride from drinking water in Chihuahua, Mexico. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 4587-4601. <https://doi.org/10.3390/ijerph120504587>
- González-Partida, E., A. Camprubí, A. Carrillo-Chávez, E H. Díaz-Carreño, L.E. González-Ruiz et al. 2019. Giant fluorite mineralization in central Mexico by means of exceptionally low salinity fluids: an unusual style among MVT deposits. *Minerals*, 9, 35. <https://doi.org/10.3390/min9010035>
- Gutiérrez, M., V.M. Reyes-Gómez, D. Nuñez-Lopez, M.T. Alarcón-Herrera. 2017. Monitoreo hidrológico y de calidad de agua en tres acuíferos del centro del estado de Chihuahua, En: *Cuenca del Rio Conchos: Una mirada desde las ciencias ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, pp. 205-223. ISBN 978-607-9368-90-0. <https://bit.ly/3PeiRFp>
- He, X., P. Li, Y. Ji, Y. Wang, Z. Su, V. Elumalai. 2020. Groundwater arsenic and fluoride and associated arsenicosis and fluorosis in China: occurrence, distribution and management. *Exposure and Health* 12, 355-368. <http://doi.org/10.1007/s12403-020-00347-8>
- Hug, S. J., L.H.E. Winkel, A. Voegelin, M. Berg, A. C. Johnson. 2020. Arsenic and other geogenic contaminants in groundwater – a global challenge. *Chimia*, 74, 7/8. <https://doi.org/10.2533/chimia.2020.524>
- Huq, M.E., S. Fahad, Z. Shao, M. S. Sarven, I. A. Khan, M. Alam, M. Saeed, H. Ullah, M. Adnan, S. Saud, et al. 2020. Arsenic in a groundwater environment in Bangladesh: Occurrence and mobilization. *J. Environ. Managem.* 262: 110318 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110318>
- Huspeni, J.R., S. E. Kesler, J. Ruiz, Z. Tuta, J. F Sutter, L.M. Jones. 1984. Petrology and geochemistry of rhyolites associated with tin mineralization in northern Mexico, *Econom. Geol.*, 79, 87-105. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.79.1.87>
- Jiménez-Córdova, M. I., L. C. Sánchez-Peña, A. Barrera-Hernández, C. González-Horta, O. Barbier, L. M. Del Razo. 2019. Fluoride is associated with altered metabolism of arsenic in an adult Mexican population. *Sci. Total. Environ.* 684, 621-628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.356>
- Knappett, P.S.K., Y. Li, I. Loza, H. Hernández, M. Avilés, D. Haaf, S. Majumder, Y. Huang, B. Lynch, V. Piña, et al. 2020. Rising arsenic concentrations from dewatering a geothermally influenced aquifer in central Mexico. *Water Res.*, 185:116257. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116257>
- Kumar, R., M. Paterl, P. Singh, J. Bundschuh, C.U. Pittman Jr., L. Trakal, D. Mohan. 2019. Emerging technologies for arsenic removal from drinking water in rural and peri-urban areas: Methods, experience from, and options for Latin America. *Sci. Total Environ.* 694, 133427. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.233>
- Mahlknecht, J., A. Horst, G. Hernández Limón, R. Aravena. 2008. Groundwater geochemistry of the Chihuahua City region in the Rio Conchos Basin (northern Mexico) and implications for water resources management. *Hydrol. Processes*, 22:4736-4751. <https://doi.org/10.1002/hyp.7084>
- Maity, J.P., Vithanage M., Kumar M., Ghosh A., Mohan D., Ahmad A., Bhattacharya P. 2021. Seven 21st century challenges of arsenic-fluoride contamination and remediation, *Groundwater Sustain. Develop.*, 12, 100538. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100538>
- Monroy-Torres, R., A.E. Macias, J.C. Gallaga-Solorzano, E.J. Santiago-García, I. Hernández. 2009. Arsenic in Mexican children exposed to contaminated well water. *Ecol. Food and Nutr.* 48:59-75, 2009. <https://doi.org/10.1080/03670240802575519>
- Morales-Simfors, N., J. Bundschuh, I. Herath, C. Inguaggiato, A.T. Caselli, J. Tapia, F. Erlington, A. Choquehuayta, M.A. Armienta, M. Ormachea, et al. 2020. Arsenic in Latin America: a critical overview on

- the geochemistry of arsenic originating from geothermal features and volcanic emissions for solving its environmental consequences. *Sci. Total Environ.* 716, 135564. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135564>
- Mukherjee, A., S. Gupta, P. Coomar, A.E. Fryar, S. Guillot, S. Verma, P. Bhattacharya, J. Bundschuh, L. Charlet. 2019. Plate tectonics influence on geogenic arsenic cycling: From primary sources to global groundwater enrichment. *Sci. Total Environ.* 683, 793–807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.255>
- Navarro, O., J. González, H.E. Júnez-Ferreira, C.F. Bautista, A. Cardona., 2017. Correlation of arsenic and fluoride in the groundwater for human consumption in a semiarid region of Mexico. *Procedia Eng.* 186, 333–340. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.proeng.2017.03.259>
- Nicolli, H. B., J. Bundschuh, J.W. Garcia., M. Carlos, C.M. Falcon, J. S. Jean. 2010. Sources and controls for the mobility of arsenic in oxidizing groundwaters from loess-type sediments in arid/semi-arid dry climates: Evidence from the Chaco-Pampean plain (Argentina), *Water Res.*, 44, 5589-5604. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.029>
- Olmos-Márquez, M.A., J.M. Ochoa-Rivero, M.T. Alarcón-Herrera, E. Santellano-Estrada, J.H. Vega-Mares, M.C. Valles-Aragón. 2020. Performance of a pilot subsurface flow treatment wetland system, used for arsenic removal from reverse osmosis concentrate, in the municipality of Julimes, Chihuahua, Mexico. *Ing. Univ.*, 24. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iedad24.ppsf>
- Olmos-Márquez, M.A., C.G. Sáenz-Urbe, J.M. Ochoa-Rivero, A. Pinedo-Álvarez, M.T. Alarcón-Herrera. 2018. Mitigation actions performed to the remediation of groundwater contamination by arsenic in drinking water sources in Chihuahua, Mexico, In: *Environmental Arsenic in a Changing World*, Zhu, Guo, Bhattacharya, Ahmad Bundschuh & Naidu, eds. (pp. 567-568).
- Organización Mundial de la Salud, 2018. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: 4th edition incorporating first addendum]. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Podgorski, J., M. Berg. 2020. Global threat of arsenic in groundwater. *Science*, 368, 845–850 <https://doi.org/10.1126/science.aba1510>
- Rahman, A., N.C. Mondal, F. Fauzia. 2021. Arsenic enrichment and its natural background in groundwater at the proximity of active floodplains of Ganga River, northern India. *Chemosphere* 265, 129096. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129096>
- Rascón, B. 2011. Estudio hidrogeoquímico y de vulnerabilidad a la contaminación de la porción Sur del acuífero Meoqui-Delicias, del Estado de Chihuahua. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua
- Rehman, M.U., R. Khan, A. Khan, W. Qamar, A. Arafah, A. Ahmad, A. Ahmad, R. Akther, J. Rinklebe, P. Ahmad. 2021. Fate of arsenic in living systems: implications for sustainable and safe food chains. *J. Hazard. Mat.* 417, 126050. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126050>
- Reyes Cortés, I.A., M. Reyes Cortés, A. Oviedo García. 2014. Geología, en: *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. Conabio. México, pp. 26-39.
- Reyes-Gómez, V.M., M.T. Alarcón-Herrera, M. Gutiérrez, D. Núñez López. 2013. Fluoride and arsenic in an alluvial aquifer system in Chihuahua, Mexico: contaminant levels, potential sources, and co-occurrence. *Water Air Soil Pollut.* 224(2): 1433. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-013-1433-4>
- Rangel-Montoya, E.A., L.E. Montañez-Hernández, M.P. Luévanos Escareño, N. Balagurusamy. 2015. Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana* 33: 103-118. <https://bit.ly/3MaszGW>
- Robledo-Peralta, A., M. López-Guzmán, C.G. Morales Amaya, L. Reynoso-Cuevas. 2021. Arsenic and fluoride in groundwater, prevalence and alternative removal approach. *Processes*, 6,1191. <https://doi.org/10.3390/pr9071191>
- Rodríguez Martínez, H.L., M. Peña Manjarrez, A.V. Gutiérrez Reyes, C.L. González Trevizo, S. L. Montes Fonseca, G.G. López Avalos. 2017. Biorremediación de arsénico mediada por microorganismos genéticamente modificados. *Terra Latinoamericana* 35: 353-361. <https://bit.ly/3sxxgUtO>
- Scanlon, B. R., J.P. Nicot, R.C. Reedy, D. Kurtzman, A. Mukherjee, D.K. Nordstrom. 2009. Elevated naturally occurring arsenic in a semiarid oxidizing system, Southern High Plains aquifer, Texas, USA. *Appl. Geochem.* 24, 2061- 2071. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.08.004>

- Scharp, C., H. Sargsyan, F. Polo. 2018. UNICEF Policy Brief: Mitigating Arsenic in Drinking Water, pp. 1–6. UNICEF Report, June 2018. <https://uni.cf/3w78iwa>
- Schlebusch, C.M., L.M. Gattepaille, K. Engström, M. Vahter, M. Jakobsson, K. Broberg. 2015. Human adaptation to arsenic-rich environments. *Mol. Biol. Evol.* 32(6):1544–1555. <https://doi.org/10.1093/molbev/msv046>
- Shaji, E., M. Santosh, K.V. Sarath, P. Prakash, V. Deepchand, B.V. Divya. 2021. Arsenic contamination of groundwater: A global synopsis with focus on the Indian Peninsula. *Geosci. Front.* 101079. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.015>
- Wallace, A. R. 2010. Fluorine, fluorite, and fluorspar in central Colorado: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5113, 61 p.
- Wang, Y. P. Li, Z. Jiang, H. Lio, D. Wei, H. Wang, Y. Wang. 2018. Diversity and abundance of arsenic methylating microorganisms in high arsenic groundwater from Hetao Plain of Inner Mongolia, China. *Ecotoxicol.* 27:1047-1057. <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1958-9>
- Westerhoff P., M. Esparza Soto, P. Caballero Mata, W.T. Parry, W.P. Johnson. 2004. Drinking water quality in the US-Mexico border region. Project Number W-03-19, Final Report. Arizona State University, USA. <https://bit.ly/3yyAzxi>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo Científico

Sistema de análisis de enfermedades crónicas no transmisibles y sus factores de riesgo

System for the analysis of chronic non-communicable diseases and their risk factors

Jeremy Quiróz¹, Vladimir Villarreal^{1,2*}, Mel Nielsen¹, Lilia Muñoz^{1,2}

¹ Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes, Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá

² Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP. Panamá

*Correspondencia: vladimir.villarreal@utp.ac.pa (Vladimir Villarreal)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.826>

Recibido: 13 de julio de 2021; Aceptado: 22 de septiembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El análisis de datos se define como el proceso de limpieza, transformación y modelado de data, con el objetivo de encontrar información que sea útil en la toma de decisiones para cualquier sector. El sector salud no cuenta con estadísticas básicas generadas por una plataforma y que puedan permitirle la interpretación por los tomadores de decisiones en el desarrollo de nuevas estrategias. Este proyecto busca analizar los datos de diabetes como enfermedad crónica no transmisible y los factores de riesgo que afectan a la población de Panamá recopilados en la plataforma médica AmIHealth. A través de estos análisis se podrán estudiar los motivos que hacen que la población panameña padezca algunas de las enfermedades crónicas no transmisibles. El desarrollo de este proyecto se basó en una metodología ágil, lo que permitió desarrollar un sistema web funcional. Se validó el sistema a través de la aplicación de encuestas a los usuarios demostrando la efectividad de este. La principal aportación se centra en facilitar información para la toma de decisiones, enfocadas en la gobernanza y el desarrollo del país.

Palabras clave: analítica de datos, desarrollo ágil, gobernanza, enfermedades crónicas no transmisibles, factores de riesgo.

Abstract

Data analysis is defined as the process of cleaning, transforming and modeling data, with the aim of finding information that is useful in making decisions for any sector. The health sector does not have basic statistics generated by a platform that can allow interpretation by decision makers in the development of new strategies. This project seeks to analyze the data on diabetes as a chronic non-communicable disease and the risk factors that affect the population of Panama collected in the AmIHealth medical platform. Through these analyzes, it will be possible to study the reasons that

make the Panamanian population suffer from some of the non-communicable chronic diseases. The development of this project was based on an agile methodology, which will develop a functional web system. The system was validated through the application of user surveys, demonstrating its effectiveness. The main contribution focuses on providing information for decision-making, focused on the governance and development of the country.

Keywords: data analytics, agile development, governance, chronic non-communicable diseases, risk factors.

1. Introducción

Las Enfermedades Crónicas no Transmisibles (ECNT) son la principal causa de muerte y discapacidad en el mundo (PAHO, 2019). El término, enfermedades crónicas no transmisibles, hace referencia a un grupo de enfermedades que no son causadas por infección alguna, estas enfermedades son el resultado de desórdenes en la salud y que normalmente generan la necesidad de cuidados y tratamientos a largo plazo. Entre las principales ECNT, se encuentran las enfermedades isquémicas del corazón, además del cáncer, enfermedades crónicas respiratorias y la diabetes. Las ECNT afectan con mayor frecuencia a los países de ingresos medios y bajos y a ellas se les acredita el 75% de las muertes a nivel mundial (WHO, 2019).

Según el Ministerio de Salud en Panamá, cerca del 50 % de las muertes son causadas por las ECNT. El cáncer, la diabetes tipo 2, enfermedades de tipo cardiovascular y enfermedades respiratorias crónicas se registran como las principales enfermedades que sufre la población panameña (MINSAL, 2019). Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo de la Contraloría General de la República, las enfermedades crónicas no transmisibles dieron muerte a 37,124 personas entre los años 2007 y 2012 (Panamá América, 2019).

En este artículo se detalla el diseño y desarrollo de una solución tecnológica que permite a los usuarios generar estadísticas basadas en el análisis de los datos sobre las ECNT y los factores de riesgos que afectan con mayor frecuencia a la población.

Se podrá generar búsqueda con base en la cantidad de registros de enfermedades registradas en la plataforma AmIHEALTH, como también podrán ver de manera global los registros de estas enfermedades clasificados por criterios previamente definidos.

1.1 Justificación del proyecto

En la actualidad son muchos los avances que se dan en el mundo en cuanto a la tecnología de la información. El sector salud a nivel mundial se está encaminando a la minería de datos para conocer patrones de las diferentes enfermedades que aquejan a la población. Se hace necesaria la gestión del sector a niveles regionales, país, continente o a nivel mundial. Para un estado es de suma importancia contar con información certera y actualizada, conocer el estatus de salud de la población que es un factor primordial en la gobernanza, avance y desarrollo de un país.

Hemos desarrollado una plataforma prototipo que realice el seguimiento analítico de los datos recolectados a través de la plataforma AmIHEALTH (Villarreal, 2018). De esta manera se facilitará el seguimiento y tratamiento de los pacientes mediante el uso de una plataforma médica.

La solución tecnológica busca segmentar la población, debido a que los grupos poseen características y rangos de riesgo que tienen de padecer enfermedades crónicas no transmisibles. Es importante contar con estadísticas sobre los pacientes; con esto se podrá observar que tipo

enfermedad es más frecuente en un determinado sexo, rango de edad y ubicación geográfica. Estos parámetros nos permitirán generar estadísticas segmentadas con base en los criterios de aspectos de salud de la población.

Teniendo en cuenta los puntos mencionados anteriormente, se ha desarrollado una aplicación web capaz de analizar los datos médicos de los pacientes (presión arterial, peso, nivel de azúcar en sangre, etc.) y agruparlos por criterios, que le permitan a los tomadores de decisiones diseñar métodos preventivos contra las enfermedades crónicas no transmisibles.

1.2 Uso de la tecnología en el análisis de datos

El uso de tecnologías para el análisis de datos en la medicina ayuda a obtener un archivo centralizado y estructurado con los datos recopilados. Gracias a esto se puede segmentar la población en diferentes grupos y rangos de riesgo, elaborar estadísticas sobre cada paciente y detectar previamente la necesidad de cada paciente. En este proyecto se desarrolló un módulo de datos, que es el encargado de gestionar los registros de medidas de todos los pacientes de la plataforma, relacionándolos a través de los diferentes indicadores generados inicialmente. Cada vez que se detecta una nueva enfermedad el módulo compara las variables y las asocia a las ya existentes, pudiendo filtrar posteriormente por cada una de esas variables que corresponden a los indicadores definidos. A través de una serie de gráficos sencillos el usuario analista de datos será capaz de tener acceso a esta información de los pacientes.

1.3 Definición de las enfermedades crónicas no transmisibles

Cada año, a nivel mundial, las enfermedades crónicas no transmisibles causan millones de defunciones. Si estas enfermedades no son detectadas y tratadas a tiempo, pueden generar complicaciones de gran alcance, ocasionan problemas que amenazan la salud de las personas, la capacidad de realizar sus tareas diarias y el bienestar general, acarreando problemas de gran importancia en el sector económico y en el sector de la salud (WHO, 2019).

1.4. Trabajos Relacionados

Luego de hacer una búsqueda completa en diferentes fuentes de publicaciones, se han identificado los siguientes trabajos relacionados a la temática de este proyecto y que tienen como objetivo analizar datos y ofrecer estos datos para su uso en el sector público.

A través de la integración de diversas plataformas de historia clínica electrónica, (Metzger, 2012) presentan un proyecto que tiene como objetivo fortalecer la toma de decisiones en la salud pública a nivel regional en Francia, en conjunto con la plataforma regional de salud Rhône-Alpes. Con la implementación de esta plataforma se vio la necesidad de homologar los datos, analizarlos y visualizar indicadores de salud pública.

Por otro lado, en Estados Unidos un equipo multidisciplinario desarrolló un proyecto que permitía la visualización de datos que incluía la presión arterial domiciliaria, llevando estos valiosos datos al flujo de trabajo del médico y a los procesos de toma de decisiones y permitía tanto a los pacientes como a los médicos a tener una comprensión más completa del comportamiento de la presión arterial promoviendo la participación activa del paciente (Koopman, 2020).

Además, (Blevins, 2016) en el estudio Interactive data visualization for HIV cohorts sugiere que la visualización de datos puede producir una presentación aún más rica de la dinámica de la población del VIH, y en su trabajo establece una herramienta de visualización basada en código

abierto donde presenta los datos poblacionales en tres clases de gráficos permitiendo la observación de la dinámica espacio-temporal de datos de CCASAnet que investigan las tendencias en el recuento de CD4 y el SIDA al inicio de la terapia antirretroviral. La herramienta requiere que la estructura de datos se ajuste al protocolo de intercambio de datos de cohortes de VIH.

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó una metodología de desarrollo ágil, que generalmente se basan en procesos incrementales, es decir, entregas frecuentes con ciclos rápidos, fáciles de aprender, permite cambios en cualquier momento de desarrollo.

Las metodologías ágiles generan un grupo de pautas, principios y técnicas que hacen la entrega de los proyectos sea más satisfactoria y menos complicada para los trabajadores y clientes (Maida, 2015).

La metodología ágil implementada fue Extreme Programming o en español, programación extrema. Esta metodología de desarrollo de software ágil es una de las más exitosas. Esta metodología está diseñada para poder hacer entregas de software a los clientes en el momento que lo necesiten. Esta enfocada en alentar a los desarrolladores a poder responder a los requerimientos cambiantes de los clientes, incluso en momentos tardíos del ciclo de vida de desarrollo. Define cuatro variables para cualquier tipo de proyecto de software, tiempo, costo, calidad y alcance. Especifica que, de estas variables, tres de ellas podrían ser fijadas por actores alternos al grupo de desarrolladores, como por ejemplo, clientes o jefes de proyecto y la variable restante será fijada por el grupo de desarrolladores. El uso de esta metodología se basa en desarrollo iterativo, se debe dividir el calendario de desarrollo en etapas que tomen un tiempo de 1 a 3 semanas de duración. Para poder llevar a cabo el desarrollo se debe tomar muy en cuenta las fechas límites de cada iteración de desarrollo y medir el progreso en todo momento de la iteración. Una de las reglas que establece esta metodología es que esta totalmente prohibido, avanzar a otra iteración del proyecto sin antes haber completado correctamente las iteraciones previas (Wells, 2013).

Esta metodología cuenta de las siguientes fases que se adaptaron al proyecto (Wells, 2013):

Planificación. En esta fase se definieron y eligieron los criterios que se quería mostrar en el tablero de datos, con base en aspectos como ubicación geográfica, sexo, rangos de medidas, entre otros. Se definieron el mayor número de criterios para que el tablero de datos se adaptara a los tomadores de decisiones.

Diseño. Posteriormente se discutieron, seleccionaron y diseñaron las consultas a ser generadas en los tableros de datos. La estructura de gráficos y tablas según los criterios elegidos.

Codificación. Se desarrollaron los módulos del tablero de datos según el diseño y criterios para consulta por parte de los tomadores de datos. Para esta fase se hicieron los ajustes para cada iteración resultante en cada interfaz desarrollada.

Pruebas. Una vez se codificaron los tableros de datos, se sometieron a pruebas por parte de los tomadores de decisiones en donde realizaban las consultas oportunas de las cuales surgieron adaptaciones para nuevas iteraciones.

Lanzamiento. Una vez se cumplió con el número de iteraciones y ajustes, se procedió a lanzar y presentar el tablero de datos a los tomadores de decisiones quienes una vez analizaban la data se dedicarían a genera estrategias directas a la salud pública.

Extreme programming busca concentrar las capacidades de los desarrolladores de software en las tareas más importantes establecidas por los clientes, en vez de tener diferentes tareas sin terminar elegidas por los desarrolladores. Con esta metodología se busca que los proyectos se realicen de una forma transparente y que beneficie también a los desarrolladores (Fig. 1).

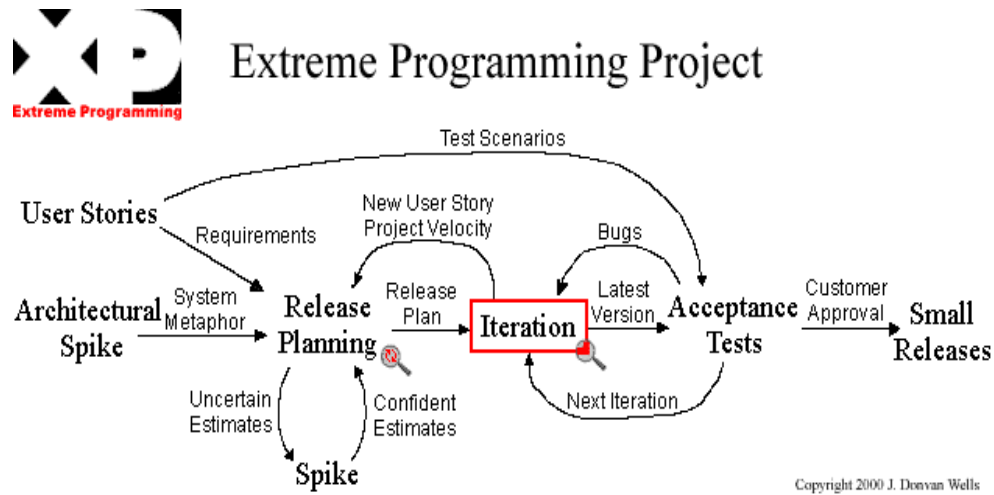


Figura 1. Ciclo de vida extreme programming (Wells, 2000)

Figure 1. Extreme programming life cycle

2.1 Arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC)

La arquitectura implementada en el desarrollo de la plataforma se basa en Framework de PHP, Laravel. Este Framework utiliza la metodología Modelo-Vista-Controlador, conocida comúnmente como MVC. El patrón MVC sirve para clasificar los datos, la lógica de trabajo y la interfaz que se le muestra a los usuarios en diferentes capas. La metodología de trabajo MVC es muy utilizada en el desarrollo de aplicaciones web debido a la facilidad que otorga para clasificar sus componentes, gracias a esto se pueden modificar funciones sin necesidad de afectar alguna otra.

En la Fig. 2, se definen los procesos que realiza la arquitectura MVC para llevar a cabo los procesos de desarrollo.

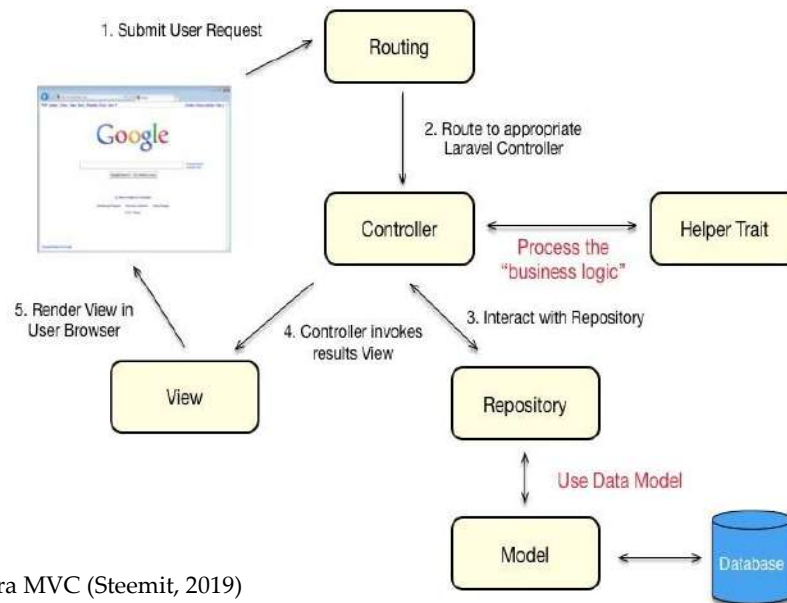


Figura 2. Arquitectura MVC (Steemit, 2019)

Figure 2. MVC architecture (Steemit, 2019)

2.2 Lenguajes de programación

Se utilizaron lenguajes y de programación y distintas tecnologías que facilitan el desarrollo de aplicaciones web. Para el desarrollo del sistema se utilizó el framework de PHP Laravel. Este es un framework de código abierto es uno de los más utilizados en el desarrollo de aplicaciones web que utilizan el lenguaje de programación de PHP (Sierra, 2018). Gracias al fácil manejo y uso que ofrece Laravel, se simplifica el desarrollo de todos los componentes necesarios para el buen funcionamiento de la plataforma. También se utilizaron herramientas de desarrollo enfocadas en el front-end de la aplicación. Entre estas herramientas se pueden destacar HTML 5, CSS3 y Javascript. Las pantallas con las que el usuario interactúa se desarrollaron con el framework Bootstrap, que facilita un desarrollo ágil, e intuitivo para el fácil uso de los usuarios. Se utilizó jQuery, que es una librería de Javascript para poder obtener los datos que son solicitados por el usuario en distintas interfaces (MDN Web Docs, 2021).

3. Desarrollo de la plataforma

A continuación, se detallan cada una de las interfaces desarrolladas para el funcionamiento de la plataforma web.

3.1 Registro de usuario

El desarrollo de esta plataforma comienza desde el perfil de usuario tipo administrador. Los usuarios administradores se encargarán de crear y gestionar a los nuevos usuarios de la plataforma tipo analista de datos.

En la Fig. 3, se puede apreciar el proceso que debe realizar el usuario administrador para poder registrar en la plataforma a un nuevo usuario analista de datos. Los datos requeridos son número de cédula, número de idoneidad, nombre, apellido, correo electrónico, sexo y fecha de nacimiento.

Analista de datos

Agregar Nuevo Analista

Cédula: 4, 784, 741

Idoneidad: 219384

Nombre: Jeremy

Apellido: Quiróz

Correo Electrónico: jeremy.quiróz@utp.ac.pa

Género: Masculino

Fecha de Nacimiento: 1996/09/26

Registrar

Figura 3. Registro de usuario

Figure 3. User registration

Una vez que el registro del nuevo usuario sea completado, el sistema enviara un correo electrónico al usuario, el cual tiene dos objetivos, el primer objetivo es validar la cuenta del usuario y el segundo será notificarle la contraseña para que pueda iniciar sesión en la plataforma. En la Fig. 4 se aprecia el correo electrónico que recibirán los usuarios para poder validar su cuenta en la plataforma web.

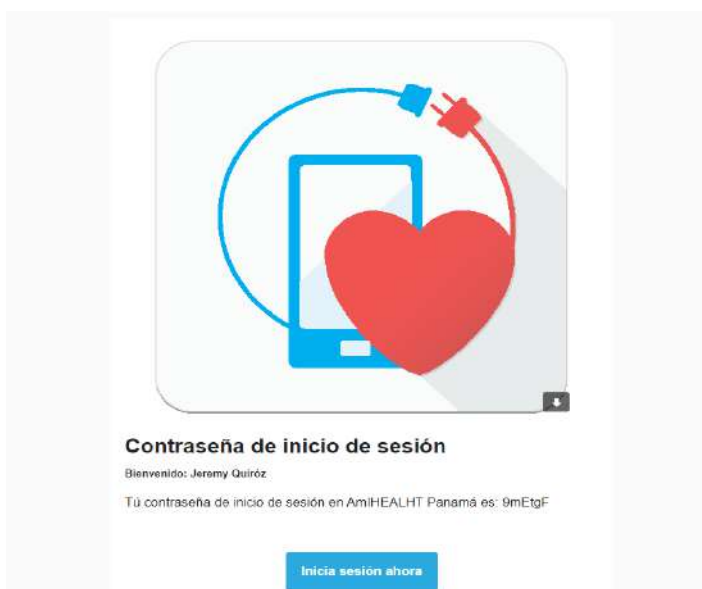


Figura 4. Correo de confirmación de cuenta.

Figure 4. Account confirmation email.

3.2 Búsqueda de información

Comprende las funcionalidades donde el usuario analista de datos es capaz de buscar datos generales de los pacientes, empezando desde la enfermedad (Hipertensión arterial, Obesidad y Diabetes), una vez seleccionada la enfermedad el usuario tiene que elegir una clasificación de la enfermedad seleccionada, ejemplo: Hipertensión arterial => Hipertensión grado 1. El siguiente campo a seleccionar es el género de los pacientes, el analista también tendrá la opción de seleccionar ambos géneros. A continuación, se debe seleccionar la ubicación geográfica, las ubicaciones están desglosadas desde la provincia, luego el distrito y por último el corregimiento. Dando clic en el botón de "Buscar" el sistema retornará la cantidad de pacientes que presenten casos de la enfermedad seleccionada y la ubicación.

En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de como funciona la carga de los datos dependiendo del campo seleccionado anteriormente.

Buscar información

The search interface consists of several dropdown menus and a search button. The filters are as follows:

- Seleccionar un tipo de enfermedad: HTA
- Seleccionar una categoría de enfermedad: Hipotensión
- Seleccionar género: Masculino
- Seleccionar una provincia: Chiriquí
- Seleccionar un distrito: David
- Seleccionar un corregimiento: Chiriquí

Below the filters is a blue button labeled "Buscar".

Figura 5. Búsqueda de información.

Figure 5. Information search.

La siguiente interfaz que el usuario podrá apreciar será la salida de resultados, donde se indicara la cantidad de pacientes que presentan la enfermedad seleccionada y el lugar indicado. Con estos datos el usuario podrá generar reportes cada vez que los considere necesarios. De esta manera se podrá llevar una trazabilidad de la cantidad de pacientes que registran periódicamente enfermedades crónicas no transmisibles.

En la Fig. 6, se muestra la salida de resultados con respecto a la búsqueda realizada en la Fig. 5.

The search results interface shows a table with the following data:

Tipo Enfermedad	Cantidad de Pacientes	Ubicación
Hipotensión	0 Pacientes registrados	Chiriquí / David / Chiriquí

Additional interface elements include a search bar, a "CREAR PDF" button, and pagination controls showing "Mostrando 1 de 1 de 1 resultados".

Figura 6. Resultados de búsqueda

Figure 6. Search results

En la interfaz que se muestra en la Fig. 6 el usuario tiene el botón de Crear PDF. Con este botón el usuario podrá generar un reporte con todas las búsquedas que haya realizado.

3.3 Estadística anual

Su función es de gestionar los registros de medidas de todos los pacientes de la plataforma. A través de una serie de gráficos sencillos el usuario analista de datos será capaz de tener acceso a esta información de los pacientes. Esta interfaz muestra las gráficas que representan la cantidad de registros generados por los pacientes en el año, clasificados por enfermedad: hipertensión arterial, obesidad, diabetes y temperatura. También se muestra la cantidad de pacientes que han ingresado a la plataforma durante el año actual.

En la Fig. 7 se muestran las gráficas que representan todos los registros de las distintas enfermedades generadas por los pacientes.

3.4 Datos por enfermedad

Cada enfermedad es analizada por separado, es decir, sus variables se miden por separado. Por ejemplo, en la hipertensión arterial se mide la cantidad de pacientes con hipertensión grado 2 en la ciudad de David y en la obesidad se mide la obesidad grado 3 en la ciudad de Bugaba.

3.4.1 Datos Hipertensión arterial

En la Fig. 8 se muestran los datos generales de los pacientes con respecto a la enfermedad de hipertensión arterial. Dentro de esta interfaz el analista de datos podrá apreciar los pacientes que registran medidas correspondientes a la hipertensión arterial, su distribución geográfica, cantidad de registros por enfermedades relacionadas con la hipertensión (hipertensión grado 1, hipertensión grado 2, etc.), cantidad de pacientes clasificados por edad y el promedio general de las medidas tomadas (presión sistólica, presión diastólica y pulso) y la cantidad de registros tomados en lo que va del año.

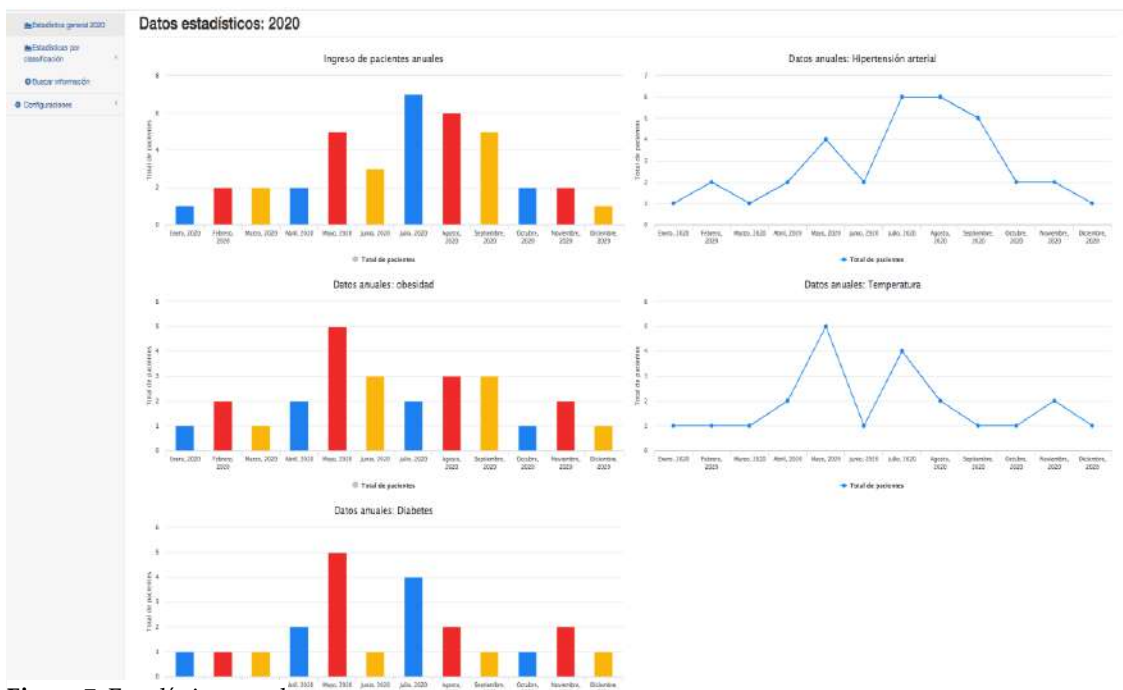


Figura 7. Estadística anual
Figure 7. Annual statistics.

Datos estadísticos: Hipertension Arterial

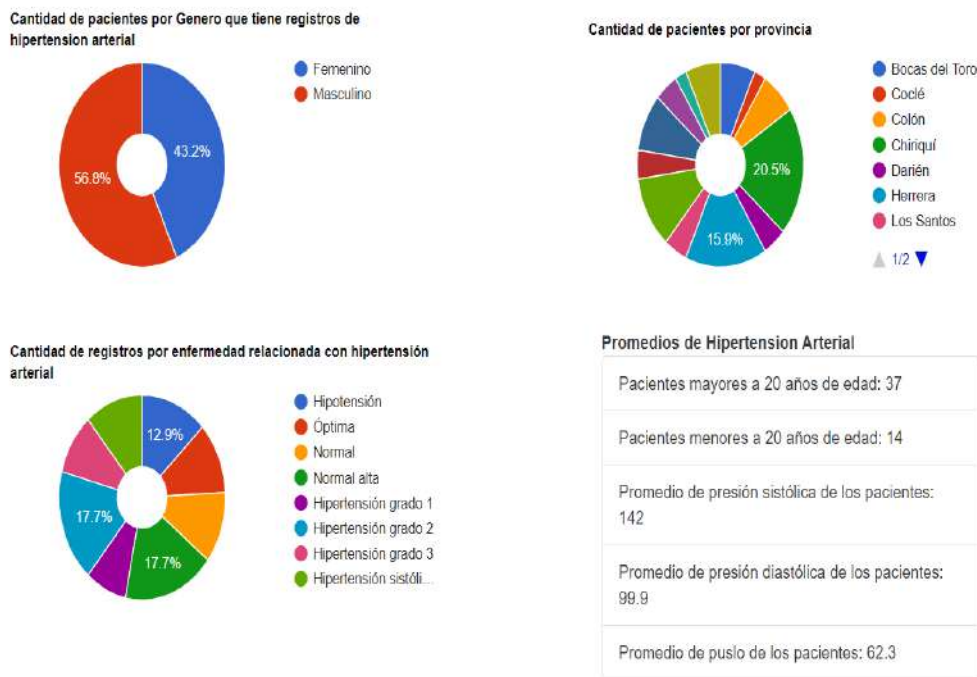


Figura 8. Datos Hipertensión arterial
Figure 8. Hypertension data

3.4.2 Datos Obesidad

La Fig. 9 abarca los datos generales de los pacientes con respecto a la obesidad. La obesidad o sobrepeso es uno de los factores de riesgo que puede provocar a los pacientes padecer de otras enfermedades como la pre hipertensión o presión arterial alta. Los datos con respecto a la obesidad permiten mostrar cuales son las enfermedades que más afectan a la población panameña. El analista de datos tiene acceso a la cantidad de pacientes por género que registran datos con respecto a la obesidad, ubicación geográfica, el conteo de casos por enfermedad y el total de casos registrados en el año.

Datos estadísticos: Obesidad

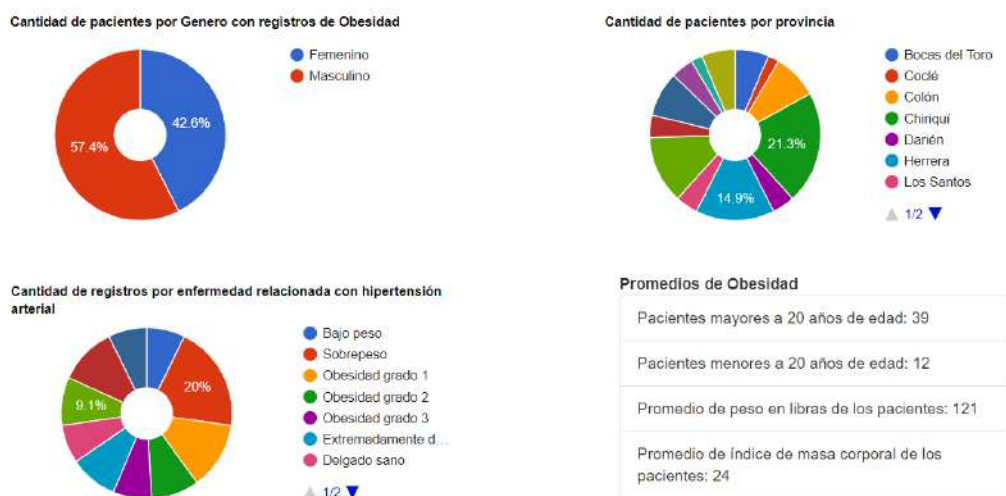


Figura 9. Datos Obesidad
Figure 9. Obesity data

3.4.3 Datos Diabetes

La Fig. 10 muestra los datos generales de los pacientes con respecto a la diabetes. La interfaz contiene la clasificación de los pacientes por género (masculino y femenino), la ubicación geográfica de los pacientes, la distribución de los registros por enfermedad (Hipoglucemia, nivel elevado, altamente elevado), la cantidad de pacientes clasificados por edad, promedio de glucosa y los casos que se han registrado en el año.

Datos estadísticos: Diabetes

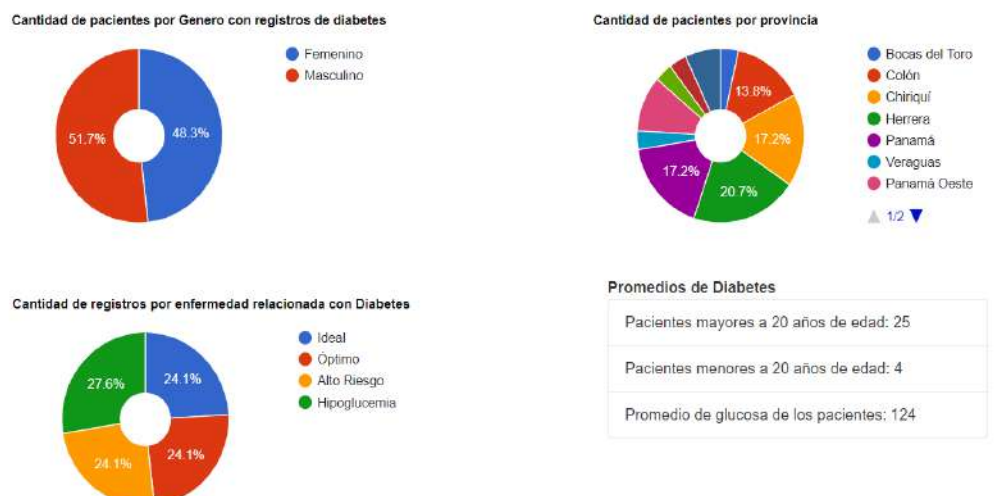


Figura 10. Datos diabetes.
Figure 10. Data on diabetes

4. Evaluación de funcionamiento del sistema

Las pruebas de software conforman el desarrollo de una aplicación web, nos permite verificar el buen funcionamiento y calidad de nuestra aplicación. Hay una gran probabilidad de que el código final tenga algún tipo de error así que los beneficios de realizar pruebas es la mitigación del riesgo de aparición de fallos en el período de producción, validar el cumplimiento de los objetivos propuestos en el proyecto, ya sea en términos de calidad y resultados.

Para evaluar el funcionamiento de la aplicación se aplicó un cuestionario a 20 usuarios con respecto al tema de diseño y organización de los elementos. Se evaluó cada pregunta, según las respuestas obtenidas de los participantes. En esta sección mostraremos los elementos más importantes: organización, validez de la información y valoración del sistema.

Según la Fig. 11, un 60% de los participantes creen que la organización de los elementos es excelente, un 20% piensa que es buena, 10% piensa que es regular y el 10% restante piensa que es mala. De esta manera la aplicación obtiene un resultado positivo.

¿Cómo considera usted la organización de los elementos dentro del sistema presentado?

20 respuestas

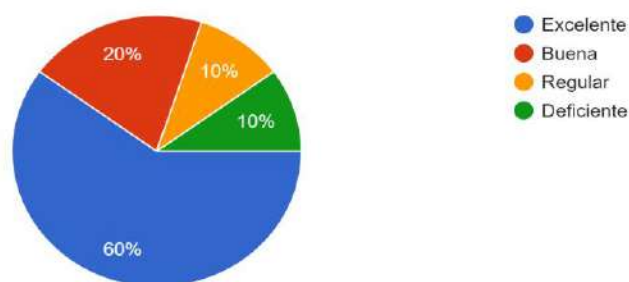


Figura 11. Evaluación de la organización de los elementos del sistema.

Figure 11. Evaluation of the organization of the elements of the system.

En la Fig. 13 se observa que el 65% de los participantes piensa que el sistema desarrollado es excelente, un 25% cree que es bueno y el 10% que resta piensa que es regular. Con estos resultados se obtiene una valoración positiva en el desarrollo del sistema.

¿Cómo valorarías el sistema desarrollado?

20 respuestas

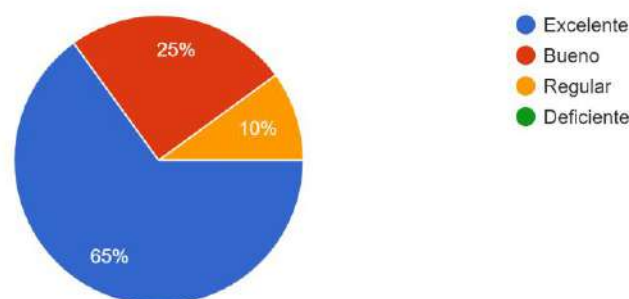


Figura 13. Evaluación según la valoración del sistema desarrollado.

Figure 13. Evaluation according to the evaluation of the developed system.

5. Discusión

Una de las ventajas que ofrece el análisis de datos, es que les permite a los tomadores de decisiones orientar sus actividades con base en data comparativa, facilitando los ajustes en diferentes sectores de salud. Una plataforma de gestión de datos de salud para la población debe poder facilitar a los expertos de salud pública, un mecanismo de evaluación del comportamiento de la población.

Este trabajo se basó en un sistema de seguimiento de pacientes con enfermedades crónicas no transmisibles llamado AmiHEALTH y que actualmente contiene datos de personas, que ofrece un mecanismo de seguimiento de los factores de riesgos del paciente para un grupo de enfermedades. Una de las preocupaciones que han surgido es la posibilidad de crecimiento del sistema, lo que afecta la posibilidad de evaluar el impacto con base a la data almacenada. Es por ello, que hemos ofrecido una solución a los expertos de salud pública con base en los criterios solicitados, para saber como se comportan esos datos con base a las regiones donde están ubicadas, el sexo de los pacientes, clasificación de su enfermedad, entre otros aspectos. En nuestro país ningún sistema tiene integrado un módulo de analítica de datos que se actualiza de forma instantánea, sino que hay que extraer los datos y luego hacer el análisis de forma poco automatizada.

Luego de analizadas las funcionalidades de los proyectos encontrados inicialmente podemos evidenciar que este proyecto al igual que los proyectos iniciales, aporta una herramienta para visualización de los datos basada en indicadores que el sector salud necesita analizar y relacionados a variables previamente desarrolladas en la plataforma. Nuestro valor agregado y que se diferencia de los demás es que el modelo de los datos definidos se ajusta a esas variables para poder, una vez se agreguen nuevos datos o nuevas enfermedades, agrupar esos datos y mostrarlos de forma gráfica.

Hay que recalcar que las analíticas responden a una necesidad actual y que se pueden definir nuevos criterios para las enfermedades ya contenidas en el sistema como aquellas nuevas que se puedan agregar a futuro.

6. Conclusiones

Este proyecto ofrece una herramienta que permite obtener datos de pacientes, clasificarlos y luego generar una analítica de datos según criterios predefinidos. Estos criterios pueden ser ajustados según las necesidades de análisis que se tengan en su momento. El sistema facilita el proceso de búsqueda de datos, de esta manera se podrá saber que enfermedad tiende a tener un mayor grado de presencia en algún lugar del país o grupo de edad y así poder encontrar cuales son los motivos que ocasionan el crecimiento de la enfermedad. Los tomadores de decisiones podrán evidenciar de forma gráfica y tabular información contenida en los tableros de datos, lo que les permitirá detectar variaciones en la población por algún factor de riesgo que tenga variaciones según los pacientes vayan actualizando su perfil de medidas y valores en el seguimiento de su enfermedad.

El desarrollo del proyecto a través de la metodología ágil de programación extrema, nos permitió tener pequeños prototipos funcionales e ir rediseñando los tableros de datos según las necesidades de los tomadores de decisión.

Para evidenciar el impacto que tiene el proyecto, se evaluó algunos criterios de uso, diseño y funcionalidad lo que nos permitió validar que el sistema desarrollado cumple con los requerimientos necesarios para brindar una experiencia fácil y agradable al usuario.

Agradecimiento

El desarrollo de este proyecto ha sido llevado a cabo como parte del proyecto AmIHEALTH, para lo cual agradecemos a los investigadores del proyecto por su apoyo. Autores de este artículo son miembros del Sistema Nacional de Investigación – SNI de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación – SENACYT.

Referencias

- Blevins, M., Wehbe, F. H., Rebeiro, P. F., Caro-Vega, Y., McGowan, C. C., Shepherd, B. E., . . . South America Network for HIV Epidemiology (CCASAnet). (2016). Interactive data visualization for HIV cohorts: Leveraging data exchange standards to share and reuse research tools. *PLoS One*, 11(3). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0151201>
- Koopman, R. J., Canfield, S. M., Belden, J. L., Wegier, P., Shaffer, V. A., Valentine, K. D., . . . LeFevre, M. L. (2020). Home blood pressure data visualization for the management of hypertension: Designing for patient and physician information needs. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1186/s12911-020-01194-y>
- MDN Web Docs. (2021). ¿Qué Es JavaScript? <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>
- Maida, E.G., Pacienza J. (2015). Metodologías de Desarrollo de Software. (Tesis licenciatura Facultad de Química e Ingeniería “Fray Rogelio Bacon” Pontificia. Universidad Católica Argentina, Santa María de los Buenos Aires.) <https://bit.ly/3wrS2oN>
- Metzger, M., Durand, T., Lalich, S., Salamon, R., & Castets, P. (2012). The use of regional platforms for managing electronic health records for the production of regional public health indicators in france. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 12, 28. <http://dx.doi.org/10.1186/1472-6947-12-28>
- MINSA. Ministerio de Salud de la República de Panamá. (2019). <https://bit.ly/3aKbXYL>
- PAHO. (2019). Enfermedades no transmisibles. <https://bit.ly/3x8KO9m>
- Panamá América. (2019). Enfermedades crónicas socavan a la población. <https://bit.ly/3NVg0Q7>
- Sierra, K. (2018). ¿Qué es Laravel? Ventajas del desarrollo a medida para tus proyectos. <https://www.synergyweb.es/blog/laravel-desarrollo-medida>
- Steemit. (2019). How to Organize Your Project with PHP and Laravel to Get the Best Structure in MVC Pattern. <https://bit.ly/3tiUFs8>
- Villarreal V., Nielsen M., Samudio M. (2018). Sensing and Storing the Blood Pressure Measure by Patients through A Platform and Mobile Devices †, *Sensors*, vol. 18, no. 6, p. 1805. <https://doi.org/10.3390/s18061805>

Wells, D. (2013). Extreme Programming. A Gentle Introduction.

<http://www.extremeprogramming.org/>

Wells, D. (2000). XP Flow Chart. Recuperado de

<http://www.extremeprogramming.org/map/project.html>).

WHO. (2019). Enfermedades no transmisibles. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>

WHO. (2021). Hypertension. https://www.who.int/health-topics/hypertension#tab=tab_1

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo de Revisión

Relación entre probióticos - postbióticos y sus principales efectos bioactivos

Relationship between probiotics - postbiotics and their main bioactive effects

Norma Angélica Bolívar Jacobo¹, Raúl Alberto Reyes-Villagrana² y América Chávez-Martínez^{1*}

¹ Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Fco. R, Almada km 1, Chihuahua C.P. 31453, México.

² Catedrático CONACYT, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez, México City C.P. 03940, México.

*Correspondencia: amchavez@uach.mx (América Chávez-Martínez)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.836>

Recibido: 12 de agosto de 2021; Aceptado: 02 de noviembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

En años actuales y atendiendo las necesidades de los consumidores, se ha incrementado el consumo de alimentos funcionales. Dentro de estos se encuentran los alimentos que contienen prebióticos y probióticos. No obstante, actualmente se han incluido dos términos nuevos, paraprobóticos y postbióticos: los primeros son células microbianas inactivas o no viables, mientras que los postbióticos son factores solubles o metabolitos que son secretados por las bacterias vivas o bien que son liberados después de una lisis celular. Dependiendo de donde se producen los postbióticos se clasifican en metabolitos microbianos (enzimas, lípidos, ácidos orgánicos, polisacáridos y péptidos/proteína) y componentes microbianos (proteínas de superficie celular, ácido para probióticos, peptidoglucano, polisacáridos y ácido teicoico). La absorción de estos compuestos se lleva a cabo en las células del intestino, que es donde ejercen su función. Para la obtención de los compuestos bioactivos se han empleado tecnologías emergentes tales como: altas presiones, pulsos de campo eléctrico, radiación, luz ultravioleta pulsada y ultrasonido, actualmente se ha hecho énfasis en el uso del ultrasonido de alta intensidad (UAI). El objetivo de esta revisión fue conocer la relación que existe entre los probióticos y postbióticos así como proporcionar un panorama general de las diferentes clasificaciones de los postbióticos, los métodos empleados actualmente para su obtención y los modelos empleados para probar su efecto bioactivo.

Palabras clave: alimentos funcionales, probióticos, postbióticos, ultrasonido, cavitación.

Abstract

In current years and in response to consumer needs, the consumption of functional foods has increased. Among these are foods containing prebiotics and probiotics. However, two new terms have now been included, paraprobiotics and postbiotics: the former are inactive or non-viable microbial cells, while postbiotics are soluble factors or metabolites that are either secreted by living bacteria or released after cell lysis. Depending on where they are produced, postbiotics are classified into microbial metabolites (enzymes, lipids, organic acids, polysaccharides and peptides/protein) and microbial components (cell surface proteins, lipoteichoic acid, peptidoglycan, polysaccharides and teichoic acid). The absorption of these compounds takes place in the cells of the intestine, where they perform their function. Emerging technologies such as high pressures, electric field pulses, radiation, pulsed ultraviolet light and ultrasound are used to obtain bioactive compounds. High intensity ultrasound (HIU) is currently used. The objective of this review is to learn about the relationship between probiotics and postbiotics, as well as to provide an overview of the different classifications of postbiotics, the methods currently used to obtain them and the models used to test their bioactive effect.

Keywords: functional foods, probiotics, postbiotics, ultrasound, cavitation.

1. Introducción

La alimentación es una parte fundamental de la vida, ya que de ella se obtienen los nutrientes que se requieren para crecer y desarrollarse de manera adecuada. Los nutrientes considerados esenciales para el humano son las proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y grasas (Malashree *et al.*, 2019).

En años recientes, se ha incrementado el interés por el consumo de alimentos que brinden beneficios a la salud, estos son conocidos como alimentos funcionales (Taranto *et al.*, 2005). Dentro de estos alimentos se encuentran los alimentos que contienen prebióticos, probióticos, paraprobióticos y postbióticos (Guimarães *et al.*, 2019). Los beneficios a la salud que confieren estos alimentos al huésped, se deben a la presencia de una amplia y variada cantidad de compuestos que se obtienen a partir de las reacciones metabólicas que llevan a cabo los microorganismos. Esta microbiota se clasifica dependiendo de su fuente de origen; se considera endógena cuando se encuentra de manera nativa en el tracto gastrointestinal (TGI) y exógena cuando se adquiere a través del consumo de ciertos alimentos. A todo este conjunto de microorganismos actualmente se le considera como un órgano complementario del TGI llamado microbioma (Noonan *et al.*, 2020). Estos microorganismos realizan ciertas funciones específicas en el huésped, entre las que se encuentran la absorción y digestión de nutrientes, la fermentación y la producción de energía entre otras. Estas funciones se atribuyen a los metabolitos también conocidos como moléculas modificadas o sintetizadas por la microbiota durante sus reacciones metabólicas (Klemashevich *et al.*, 2014).

Dentro del TGI se encuentra el intestino, el cual aporta aproximadamente el 70% del total de la inmunidad al organismo, por esa razón se considera el órgano inmune más grande. En el TGI se encuentran bacterias patógenas y no patógenas, las primeras ocasionan enfermedades tales como *E. coli*, *Salmonella* spp., etc., mientras que las bacterias no patógenas ayudan a mantener la homeostasis intestinal evitando el desarrollo de ciertas patologías (Malashree *et al.*, 2019). El microbioma está conformado por aproximadamente 1000 diferentes especies de microorganismos en una concentración aproximada 10^{14} UFC/ g o ml de bacterias. Aproximadamente existen unos 50, 000

metabolitos producidos por los microorganismos presentes en el intestino humano (Ghosh *et al.*, 2021). Estudios actuales ponen de manifiesto la relación que se da entre el cerebro y el intestino, esta relación es muy importante porque con ella se logra mantener la función del cerebro y la homeostasis intestinal, esta relación es conocida como “eje intestino- cerebro” (Nishida *et al.*, 2017). El microbioma es diferente entre los individuos y por lo tanto las variaciones entre las poblaciones son mayores (Cortés-Martín *et al.*, 2020), estas variaciones están relacionadas al fenotipo metabólico y función bioactiva.

Debido al aumento a nivel mundial de una amplia gama de patologías relacionadas con la pérdida del homeostasis intestinal, se ha mostrado un interés por el uso de los postbióticos que son los metabolitos de las bacterias vivas llamadas también probióticas, estos metabolitos han mostrado tener un efecto similar a los probióticos, pero se consideran más seguros para consumirlos. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión fue describir la relación que existe entre los probióticos y postbióticos, así como describir la clasificación de estos compuestos, los métodos empleados actualmente para su obtención y para probar su efecto bioactivo.

2. Prebióticos

Son sustratos no digeribles que utilizan los microorganismos selectivamente para desarrollarse y brindar beneficios a la salud del huésped que los consume (Rad *et al.*, 2020). Estos no se afectan por la presencia de las enzimas digestivas, pero son fermentados por los microorganismos que se encuentran en el TGI para formar ácidos grasos de cadena corta (Klemashevich *et al.*, 2014). Estos se encuentran de manera natural en algunas frutas, verduras y cereales (Klemashevich *et al.*, 2014). Algunos carbohidratos como los oligosacáridos de la leche humana, los galactooligosacáridos, los fructooligosacáridos y la inulina se consideran prebióticos (Wegh *et al.*, 2019). De estos, la inulina es el prebiótico más estudiado (Guimarães *et al.*, 2019).

Los efectos principales de los prebióticos son potencializar el crecimiento de algunos microorganismos, modificar la actividad intestinal mejorando la función gastrointestinal, aumentar la absorción de minerales, aumentar la saciedad por lo que presenta una modulación en el metabolismo energético (Wegh *et al.*, 2019). La Figura 1 muestra la relación que existe entre los prebióticos, probióticos y postbióticos, ya que los primeros son empleados como sustrato o alimento por los probióticos para su crecimiento y desarrollo, posteriormente estos al llevar a cabo las reacciones metabólicas, dan origen a los postbióticos.

3. Probióticos

Las bacterias benéficas que se encuentran en el microbioma son conocidas como probióticos y se definen como microorganismos vivos que al administrarse en cantidades adecuadas confieren beneficios a la salud (Assimos, 2020; Guimarães *et al.*, 2019). Dichos beneficios dependerán de la cepa administrada, del estado de salud y del grado de tensión o estrés que presente el huésped (Cicenia *et al.*, 2014). El mecanismo de acción de la interacción entre las células de la mucosa del intestino y los probióticos, molecularmente no está completamente establecido. No obstante, y a pesar de no existir mecanismos establecidos, hay efectos que se atribuyen a ciertos componentes que presentan. Algunos de los efectos benéficos que presentan los probióticos son: inmunomodulación, hipocolesterolemia, anticancerígena, antidiabético, antihipertensivo e hipolipidémico (Rad *et al.*, 2021a). El efecto inmunorregulador se atribuye a los componentes que poseen las bacterias, los cuales se clasifican en componentes externos, como el peptidoglicano y

ácido lipoteico (que se encuentran en la pared celular) o internos, en los que se incluyen el ADN y ARN (Murata *et al.*, 2018).

El empleo de los probióticos surgió como una alternativa para tratar ciertos desordenes gastrointestinales, dentro de los cuales se incluyen diarreas causadas por infecciones y por la administración de antibióticos, síndrome del intestino irritable y la enfermedad intestinal inflamatoria (EII) (Plaza-Díaz *et al.*, 2019).

Los probióticos tienen actividades específicas (Tsilingiri *et al.*, 2012). Poseen estructuras llamadas patrones moleculares asociados a microbios (MAMPs) (Santiago-López), dentro de estas estructuras se encuentran los flagelos y pili, así como proteínas superficiales, polisacáridos, el ácido lipoteicoico, etc. Esta capacidad de reconocimiento es la que permite llevar a cabo la unión con los receptores de reconocimiento a través de los cuales estarán llevando a cabo su función.

Los ácidos orgánicos, indoles, bacteriocinas, H₂O₂ son metabolitos producidos por los probióticos como protección de la barrera epitelial (Liu *et al.*, 2020).

Para llevar a cabo su función, los probióticos deben presentar ciertas características tales como: capacidad para resistir a los ácidos gástricos y las sales biliares, capacidad de adherencia a las células epiteliales y poseer actividad antimicrobiana que favorezca la eliminación o minimice la adherencia de patógenos en el tracto gastrointestinal (Guimarães *et al.*, 2019). Para asegurar que los probióticos confieran un efecto benéfico en el huésped la cantidad mínima necesaria debía ser de 10⁶ UFC/g o ml (Guimarães *et al.*, 2019); actualmente esta concentración se modificó y no debe ser inferior a 10⁸ u 10⁹ UFC/ g o ml (Rad *et al.*, 2021a).

Los probióticos actúan de tres posibles maneras: (I) la interacción es directa con la flora natural del intestino o por reacciones enzimáticas que se llevan a cabo dentro de la zona; (II) interacción con las células epiteliales y la mucosidad presente en el intestino; (III) su mecanismo de acción se lleva a cabo fuera del intestino, actuando en algunos órganos siendo los principales el hígado y el corazón, también lo hace a nivel del sistema inmunológico (de Almada *et al.*, 2016).

Los probióticos pueden emplearse como suplementos o bien ser adicionados a bebidas fermentadas, quesos o yogurt entre otros alimentos (Cabeza, 2006; de Almada *et al.*, 2016).

Existen ciertos desafíos en cuanto al uso de los probióticos en alimentos, algunos de estos es que mantengan la viabilidad y supervivencia durante la vida en anaquel de los alimentos dónde se adicionan, ser adicionados en alimentos que no requieran tratamiento térmico antes de su consumo, no alterar o modificar las características sensoriales de los alimentos, entre otros. Hay alimentos que se consideran matrices adecuadas para la incorporación de estos, por ejemplo, el yogurt (de Almada *et al.*, 2016).

Por otra parte, existen productos que son conocidos como simbióticos los cuales son una combinación de prebióticos y probióticos, brindando un efecto sinérgico que ejerce un mayor beneficio sobre la salud del huésped que lo consume, esta combinación presenta una mayor ventaja sobre el consumo individual de cada uno (Rodríguez *et al.*, 2011).

4. Postbióticos

En los últimos años se han mostrado un gran interés por las moléculas originadas a partir de los microorganismos que se encuentran dentro del TGI y los que se consumen de manera exógena a través de los alimentos (Rad *et al.*, 2021a). Lo anterior se presenta como una alternativa al consumo directo de probióticos (bacterias vivas) evitándose así el riesgo que puede ocasionar, en algunas personas que padecen ciertas patologías, el administrar probióticos (bacterias vivas) (Cicenia *et al.*, 2014) siendo una alternativa segura (Plaza-Díaz *et al.*, 2019).

Recientemente se ha empleado un nuevo término en el área de los alimentos funcionales, postbióticos. Aunque todavía no existe un consenso para definirlos, son llamadas así las moléculas o compuestos de productos bacterianos no viables que poseen propiedades bioactivas.

Por definición, postbiótico es cualquier factor o producto que se obtiene de la lisis de la célula bacteriana o de la actividad metabólica al llevar a cabo la fermentación de los carbohidratos, la síntesis de enzimas, de algunos péptidos y vitaminas. También estos postbióticos pueden provenir de los componentes que forman parte de la estructura del microorganismo. de esta, que al ser consumidos ejercen efectos positivos o benéficos en la salud del huésped (Koleilat, 2019; Malashree et al., 2019; Rad et al., 2020; Teame et al., 2020; Żółkiewicz et al., 2020).

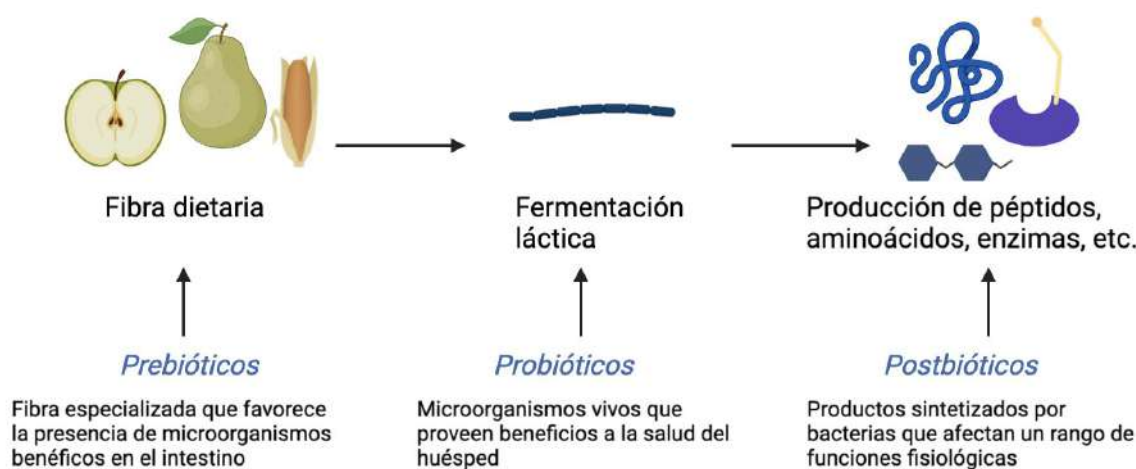


Figura 1. Postbióticos: un paso más allá de prebióticos y probióticos. (Adaptado de Malashree et al., 2019).

Figure 1. Postbiotics: a step beyond prebiotics and probiotics. (Adapted from Malashree et al., 2019).

4.1. Características importantes de los postbióticos

Los postbióticos poseen características claves que les confieren ciertas ventajas respecto al uso de probióticos, se consideran no patógenos, no tóxicos y tienen la capacidad de resistir la hidrólisis llevada a cabo por las enzimas de los mamíferos (Koleilat, 2019). Otra ventaja es la fácil unión a los sitios de acción, no se presenta la interacción entre microorganismos, tienen mayor estabilidad (Wegh et al., 2019), no hay riesgo de que se presente una traslocación bacteriana, existe mayor interacción de las moléculas liberadas, no hay pérdida de viabilidad, existe más facilidad para obtenerlos, estandarizarlos, transportarlos y almacenarlos (Nataraj et al., 2020).

4.2. Principales métodos empleados para la obtención de postbióticos

La inactivación y lisis celular se presenta por la alteración y/o debilitamiento o ruptura de la pared celular de las bacterias o por daño en el ADN debido a la presencia de radicales libres (de Almada et al., 2016). Para lograr la inactivación y lisis de las bacterias se pueden emplear diversos métodos: tratamientos térmicos, agentes químicos, irradiación (luz ultravioleta), pulsos de campo eléctrico, altas presiones y el ultrasonido (Balthazar et al., 2019; Nataraj et al., 2020; Rad et al., 2021b). El método más utilizado durante muchos años para la inactivación de microorganismos fue el

tratamiento térmico; actualmente se emplean tratamientos no térmicos, como los mencionados anteriormente. En los últimos años el tratamiento ultrasónico se ha empleado con éxito para favorecer el crecimiento bacteriano, el intercambio de moléculas y la extracción de compuestos bioactivos, así como permitir la hidrólisis enzimática (Huang *et al.*, 2019). El ultrasonido genera un cambio en la membrana celular que se conoce como ultrasonoporación. En este proceso se generan poros transitorios que permiten y facilitan el transporte de compuestos a través de la membrana celular (Kooiman *et al.*, 2011). Ultrasonoporación puede considerarse un buen método, no solo para la obtención de los metabolitos producidos por los probióticos, sino también ayuda al intercambio directo entre los medicamentos y las células (Fig. 2). Pese a que se han realizado varios estudios respecto a la formación de estos poros que dañan las membranas de las células, aún falta estudiar cómo es la reparación de estas células una vez que se ha logrado el objetivo (Kudo *et al.*, 2009). Los pulsos de campo eléctrico (PCE) es un tratamiento no térmico, que emplea un campo eléctrico generado a partir de dos electrodos. La inactivación de microorganismos se genera por la formación de poros (electroporación) en la membrana celular generados por los pulsos de alto voltaje, ocasionando perturbación y perforación de las membranas celulares. El daño en la membrana celular favorece la liberación de metabolitos y otros compuestos (iones), hasta ocasionar un vaciamiento celular y muerte (Min *et al.*, 2007; Buckow *et al.*, 2014). Las altas presiones emplean un medio líquido (agua), para transferir la presión. Las presiones varían en un rango de 100- 1200 MPa. La inactivación y la lisis celular, es ocasionada por la inhibición y desnaturalización de proteínas, la ruptura de la célula y la disminución del pH. Los rayos UV se localizan en un rango de 200 a 400 nm en el espectro electromagnético. La inactivación celular, se presenta por la desnaturalización de proteínas y la formación de compuestos (dímero de pirimidina) que impiden que se lleve a cabo el proceso de transcripción y traducción del ADN, ocasionando la muerte celular (de Almada *et al.*, 2016).

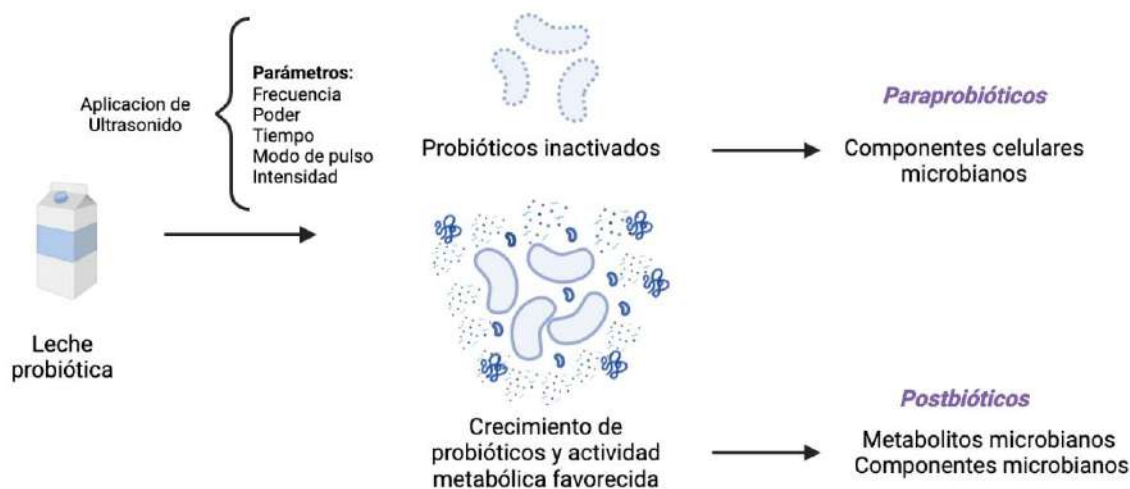


Figura 2. Efecto del ultrasonido de alta intensidad sobre el desarrollo de postbióticos obtenidos a partir de probióticos. (Adaptado de Guimarães *et al.*, 2019).

Figure 2. Effect of high-intensity ultrasound on the development of postbiotics obtained from probiotics. (Adapted from Guimarães *et al.*, 2019).

4.3. Clases de postbióticos

Los metabolitos (postbióticos) se pueden clasificar de tres maneras dependiendo de características muy específicas. La primera clasificación es respecto al lugar de procedencia, la cual se conforma por tres grupos y de la siguiente manera:

- A) los metabolitos producidos por las bacterias a partir de componentes de la dieta,
- B) los producidos por la modificación bioquímica bacteriana de los bioproductos del huésped y
- C) los sintetizados de novo por las bacterias (Moradi *et al.*, 2020).

La segunda clasificación es respecto a su composición química (Fig.3) tal como proteínas, lípidos, carbohidratos, ácidos orgánicos, vitaminas, enzimas, moléculas complejas y proteínas de superficie celular (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018; Tomasik and Tomasik, 2020). La tercera clasificación es con base a su potencial bioactivo (inmunomodulador, antiinflamatorio, antimicrobiano, antioxidante, antiproliferativo, etc.) (Shin *et al.*, 2010; Ruiz-Briseño *et al.*, 2018; Tomasik and Tomasik, 2020; Ghosh *et al.*, 2021; Rad *et al.*, 2021b)

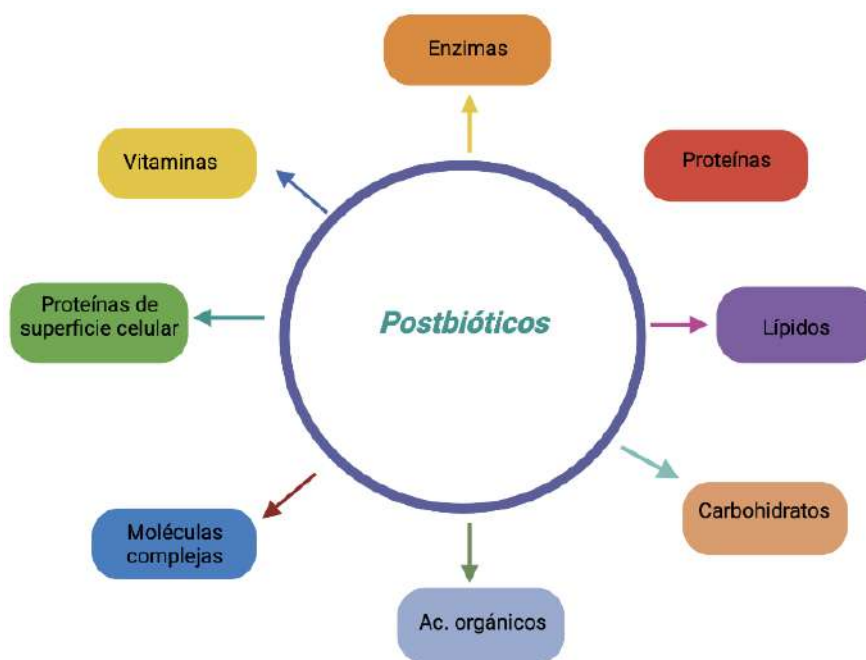


Figura 3. Clasificación de los postbióticos por su composición química. (Adaptado de Rad *et al.*, 2021a).

Figure 3. Classification of postbiotics by chemical composition. (Adapted from Rad *et al.*, 2021a).

La composición química de los postbióticos es la que determina el potencial activo de los mismos. Las actividades biológicas de los exopolisacáridos, los componentes de la pared celular y las proteínas de superficie celular son inmunomoduladoras y de mantenimiento de la homeostasis. Mientras que la actividad de las bacteriocinas es antimicrobiana, antifúngica y antiviral; el sobrenadante libre de células presenta actividad antiinflamatoria, anticancerígena y antioxidante (Rad *et al.*, 2021b).

4.3.1. Constituyentes de la pared celular

Dentro de los constituyentes de la pared celular se encuentran el ácido lipotéicoico y el peptidoglicano que tienen actividad inmunomoduladora. Estudios realizados con varias especies de *Lactobacillus* spp. mostraron efecto antiinflamatorio al inhibir la liberación de los compuestos inflamatorios llamados citoquinas. En el caso de *L. rhamnosus* se favoreció la respuesta inmune innata y al emplear *L. plantarum* se obtuvo una respuesta antiinflamatoria en células epiteliales intestinales de cerdos (Żółkiewicz et al., 2020; Mayorgas et al., 2021; Rad et al., 2021b).

4.3.2. Exopolisacáridos

Dentro de las principales actividades que ejercen estos compuestos, son la de modular los dos tipos de respuesta inmunológica (respuesta inmune innata y la adaptativa) mediante la estimulación de algunas células inmunitarias, por ejemplo, células naturales killer, macrófagos y linfocitos B y T (Żółkiewicz et al., 2020; Mayorgas et al., 2021; Rad et al., 2021b).

4.3.3. Proteínas de la superficie celular

Estas proteínas están constituidas por proteínas y glicoproteínas, brindando protección a la célula. Estas se encuentran principalmente en las especies de *Lactobacillus* spp. En el caso de *L. acidophilus* se ha observado la actividad inmunomoduladora, mientras que en *L. helveticus* se ha encontrado que mejora la eficacia de la barrera epitelial favoreciéndose la homeostasis de la mucosa (Żółkiewicz et al., 2020; Mayorgas et al., 2021; Rad et al., 2021b).

4.3.4. Sobrenadante libre de células

Los compuestos que forman parte de los sobrenadantes incluyen una amplia gama de compuestos dentro de los que se incluyen, las bacteriocinas, diacetileno, reuterina, peróxido de hidrógeno y ácidos orgánicos (butirato, propionato y acetato). Estos compuestos presentan efectos principales como actividad antiinflamatoria, antioxidante y favorecen la homeostasis intestinal (Żółkiewicz et al., 2020; Mayorgas et al., 2021; Rad et al., 2021b).

4.3.5. Bacteriocinas

Las bacteriocinas son péptidos de peso molecular pequeño, cuyas propiedades principales son antibacterianas, antifúngicas y antivirales. Estudios realizados con bacterias ácido lácticas han mostrado efecto antimicrobiano contra cepas patógenas como, *Listeria*, *Clostridium*, *Enterococcus*, *Bacillus* y *Staphylococcus* (Żółkiewicz et al., 2020; Mayorgas et al., 2021; Rad et al., 2021b).

4.3.6. Enzimas

Las enzimas antioxidantes son de gran importancia debido a que son el resultado del mecanismo de defensa de los microorganismos frente a especies reactivas de oxígeno. Estas especies pueden dañar algunos compuestos. Las principales enzimas son la glutatión peroxidasa, la peróxido dismutasa, la catalasa y la NADH-oxidasa. Los microorganismos más estudiados son los pertenecientes a la especie de *Lactobacillus* spp. (Żółkiewicz et al., 2020).

4.3.7. Ácidos grasos

Dentro de la amplia gama de metabolitos producidos por los microorganismos, los más estudiados son los ácidos grasos de cadena corta. Estos son producto de la fermentación de ciertos alimentos que es llevada a cabo por la microbiota intestinal. El acetato, el propionato y butirato son ácidos grasos que se encuentran en mayor cantidad dentro del intestino. Estos poseen la capacidad de actuar extra o intracelularmente. El acetato se absorbe en las células epiteliales intestinales o

puede viajar y llegar al hígado para posteriormente ser liberado a circulación, el resto puede ser empleado como sustrato para producir el butirato. El acetato lo producen principalmente las bacterias pertenecientes al filo *Bacteroidetes*, que se encuentran en el tracto gastrointestinal, como las bacterias comensales, y tiene efecto antimicrobiano principalmente. El propionato se metaboliza en el hígado, participa en el metabolismo de carbohidratos e inhibe la síntesis del colesterol, su efecto es antiinflamatorio. El butirato es la primera fuente de energía de los colonocitos, estas estructuras son células caliciformes que se encuentran recubriendo el epitelio del colon. Su síntesis se lleva a cabo por el grupo de microorganismos pertenecientes al filo Firmicutes y el metabolismo del butirato se lleva a cabo dentro de la mucosa intestinal y el residuo se degrada en el hígado. Sus principales efectos son antiinflamatorio e inmunosupresor. Una de las funciones primordiales del propionato y butirato que se encuentran intracelularmente son la regulación de la transcripción, ocasionando la muerte celular, favoreciendo la inhibición de proliferación de las células anormales (Żółkiewicz et al., 2020; Mayorgas et al., 2021)

4.4 Mecanismos potenciales de acción de los postbióticos

Estudios realizados actualmente han demostrado que los microorganismos que han sido inactivados pueden tener efectos benéficos a la salud al igual que los probióticos, los mecanismos de acción son la modulación del sistema inmunológico a través de los compuestos que se encuentran en la pared celular, la adherencia a las células intestinales inhibiendo el crecimiento de microorganismos patógenos y la secreción de metabolitos por las células muertas (de Almada et al., 2016). A pesar de las variadas investigaciones que han sido realizadas, los mecanismos de acción aún no están completamente establecidos o elucidados y se requiere llevar a cabo más estudios sobre estos (Aguilar-Toalá et al., 2018). A la fecha se reconoce que el efecto antimicrobiano se atribuye a la presencia de moléculas como ácidos orgánicos (que se relacionan con la acidificación del medio y la disminución del pH), bacteriocinas, ácidos grasos, péptidos, vitaminas y peróxido de hidrogeno (Rad et al., 2021b).

4.5 Análisis de los postbióticos

Actualmente se emplea una herramienta para analizar de manera efectiva la composición de los alimentos y/o los metabolitos que producen ciertos microorganismos, esta herramienta es llamada perfil metabolómico (Fig. 4) y se puede llevar a cabo a través de la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (Rodrigues et al., 2011). Fuochi et al., 2019 reportaron el perfil metabolómico de *Lactobacillus* spp. en MRS con glicerol (20% v/v) utilizando RMN. Es importante la caracterización de los postbióticos para entender su composición y para dilucidar qué efectos bioactivos estarán presentes y cómo se llevarán a cabo. Lo anterior permite planear su aplicación en diversas áreas, especialmente en la industria alimentaria, biotecnológica y farmacéutica (Cuevas-González et al., 2020). Se necesitan más estudios de metabolómica para describir los nuevos componentes postbióticos y estudiar la seguridad, producción y afectación al pasar por el TGI del huésped (Rad et al., 2020).

Los metabolitos obtenidos a partir de la fermentación de las BAL que se han reportado y que tienen efectos benéficos son los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), la trimetilamina (TMA), las poliaminas, taurina, histamina y metabolitos orgánicos de la espermina, péptidos bioactivos, metabolitos de la degradación del triptófano, ácidos biliares y otros nutrientes importantes para el organismo como las vitaminas del complejo B (B1, B3, B9, B12) y las vitaminas liposolubles K y A (Peluzio et al., 2021).

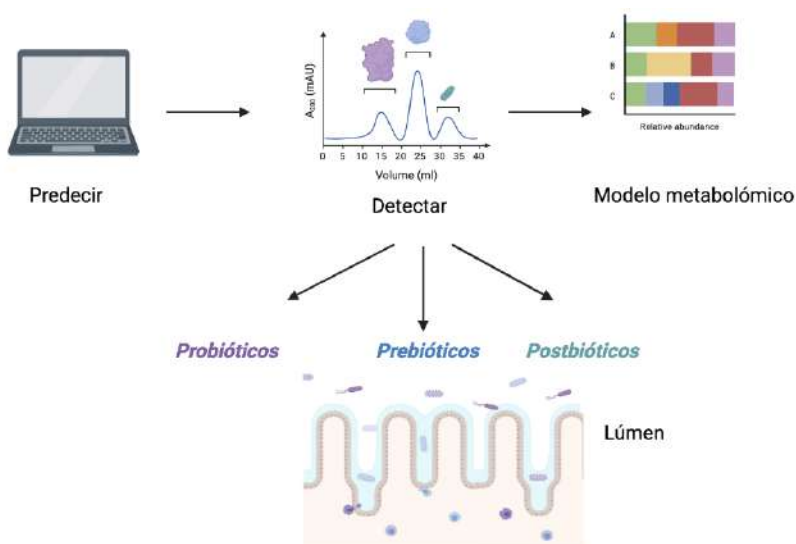


Figura 4. Perfil metabolómico para determinar la composición de los probióticos, prebióticos y postbióticos, así como su interacción. (Adaptado de Klemashevich *et al.*, 2014).

Figure 4. Metabolomic profile to determine the composition of probiotics, prebiotics and postbiotics, as well as their interaction. (Adapted from Klemashevich *et al.*, 2014).

4.6 Modelos utilizados para el estudio del efecto de los postbióticos.

Existen diferentes tipos de modelos que se emplean para llevar a cabo el estudio del efecto de los postbióticos dentro del intestino. Los modelos se clasifican de la siguiente manera: A) *In vitro*, los cuales se realizan a través de líneas celulares sembradas en monocapa o en placas de cultivo. B) *Ex vivo*, se emplean organoides que asemejan un órgano. C) *In vivo*, se realiza en un organismo vivo y es el modelo más eficaz para estudiar los efectos de los postbióticos y determinar los efectos que se presentan (Mayorgas *et al.*, 2021). En la tabla 1, se muestran algunos de los efectos que se ha reportado en algunos ensayos *in vitro* e *in vivo*, empleando postbióticos de diferentes fuentes de origen.

Se ha evaluado la actividad *in vitro* de algunos postbióticos de *Bifidobacterium longum* que han mostrado efecto bactericida, de *Lactobacillus acidophilus* que actúa inhibiendo a *Giardia lamblia* por lo que ya no hay formación de quistes. Así mismo, algunos postbióticos de *Lactobacillus* son una fuente potencial de bacteriocinas, que favorecen la inhibición y crecimiento de ciertos microorganismos patógenos, así también favorecen la respuesta inmunológica al incrementar la producción de algunas interleucinas. Mientras que los estudios *ex vivo* empleando postbióticos de *Lactobacillus casei* en mucosas del íleon y colon encontraron que estos disminuyen la respuesta inflamatoria, siendo una alternativa segura como tratamiento para pacientes con enfermedades intestinales inflamatorias (Hernández *et al.*, 2020).

Tabla 1. Efectos de algunos postbióticos a partir de microorganismo y tipo de modelo empleado para su estudio.**Table 1.** Effects of some postbiotics from microorganism and type of model used for their study.

Probiótico (Microorganismo)	Origen del postbiótico	Tipo de modelo	Efecto
- <i>Lactobacillus acidophilus</i> - <i>Lactobacillus casei</i>	Sobrenadante libre de células	<i>In vivo</i>	Antiinflamatorio y antioxidante en células epiteliales intestinales, macrófagos y neutrófilos.
- <i>Lactobacillus plantarum</i>	Sobrenadante libre de células	<i>In vivo</i>	Efecto en la maduración y morfología de la barrera intestinal.
-Géneros <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterium</i>	Sobrenadante libre de células	<i>In vitro</i>	Actividad antibacteriana contra <i>E. coli</i> en los enterocitos.
- <i>Lactobacillus plantarum</i>	Exopolisacáridos	<i>In vitro</i>	Secreción de óxido nítrico (NO), aumento de la capacidad fagocítica de los macrófagos.
- <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i>	Exopolisacárido	<i>In vivo</i>	Retaso en el desarrollo de la aterosclerosis. Prevención en el aumento de la presión arterial y regulación de la concentración de glucosa en sangre.
-Géneros <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterias</i>	Fragmentos de la pared celular	<i>In vitro</i>	Estimulación de los mastocitos de la piel contra infecciones, efecto antiinflamatorio y anticancerígeno.
- <i>Lactobacillus helveticus</i>	Metabolitos producidos por la microbiota intestinal	<i>In vitro</i>	Folato tiene actividad antioxidante.
- <i>Lactobacillus acidophilus</i>	Metabolitos producidos por la microbiota intestinal	<i>In vitro</i>	Síntesis de novo de vitaminas B12 y K.

(Żótkiewicz et al., 2020)

5. Conclusiones

Los postbióticos, ya sea que se obtengan del metabolismo de los probióticos o que formen parte de estos, representan una alternativa segura de obtención de compuestos diversos que presentan un efecto benéfico en quien los consume. A pesar de que los mecanismos de acción de los postbióticos

no han sido dilucidados completamente, se ha mostrado que presentan efectos inmunomoduladores, antiinflamatorios y antimicrobianos principalmente en los diferentes modelos empleados (*in vitro*, *ex vivo* e *in vivo*). El uso de postbióticos actualmente es una alternativa para conseguir los mismos efectos benéficos que presentan los probióticos, aunque en este caso, el efecto bioactivo no depende de la viabilidad de los microorganismos. Así mismo, los postbióticos comparados con otros compuestos bióticos, tienen mayor vida en anaquel y su transporte, manejo y almacenamiento es más fácil. Sin embargo, se requiere profundizar más en el estudio de cómo estos compuestos interactúan con las moléculas presentes en la microbiota y/o con las matrices alimentarias donde se introducen y elucidar si la interacción presenta efecto.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Nomenclatura

ADN	ácido desoxirribonucleico
AGCC	ácidos grasos de cadena corta
ARN	ácido ribonucleico
BAL	bacterias ácido lácticas
EII	enfermedad inflamatoria intestinal
MAMPs	patrones moleculares asociados a microbios
RMN	resonancia magnética nuclear
TGI	tracto gastrointestinal
TMA	trimetilamina
UAI	ultrasonido de alta densidad
UFC	unidades formadoras de colonias

Referencias

- Aguilar-Toalá, J. E., R. García-Varela, H. S. García, V. Mata-Haro, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba, and A. Hernández-Mendoza. 2018. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends Food Sci. Technol.* 75:105–114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>
- de Almada, Caroline N., Carine N. Almada, R. C. R. Martinez, and A. S. Sant'Ana. 2016. Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. Elsevier Ltd. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.011>
- Assimos, D. G. 2020. Re: Metabolomic Profiling of Oxalate-Degrading Probiotic *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus gasseri*. *J. Urol.* 203:247–248. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000612972.99650.f8>
- Balthazar, C. F., A. Santillo, J. T. Guimarães, A. Bevilacqua, M. R. Corbo, M. Caroprese, R. Marino, E. A. Esmerino, M. C. Silva, R. S. L. Raices, M. Q. Freitas, A. G. Cruz, and M. Albenzio. 2019.

- Ultrasound processing of fresh and frozen semi-skimmed sheep milk and its effects on microbiological and physical-chemical quality. *Ultrason. Sonochem.* 51:241–248. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.017>
- Buckow, R., P. S. Chandry, S. Y. Ng, C. M. McAuley, and B. G. Swanson. 2014. Opportunities and challenges in pulsed electric field processing of dairy products. *Int. Dairy J.* 34:199–212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.09.002>
- Cabeza, E. A. 2006. Bacterias ácido-lácticas (BAL): Aplicaciones como cultivos estárter para la industria láctea y cárnica. 14:549–566. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.2241.2169>
- Cicenia, A., A. Scirocco, M. Carabotti, L. Pallotta, M. Marignani, and C. Severi. 2014. Postbiotic activities of lactobacilli-derived factors. *J. Clin. Gastroenterol.* 48:S18–S22. <https://doi.org/10.1097/mcg.0000000000000231>
- Cortés-Martín, A., M. V. Selma, F. A. Tomás-Barberán, A. González-Sarrías, and J. C. Espín. 2020. Where to Look into the Puzzle of Polyphenols and Health? The Postbiotics and Gut Microbiota Associated with Human Metabotypes. *Mol. Nutr. Food Res.* 64:1–17. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900952>
- Cuevas-González, P. F., A. M. Liceaga, and J. E. Aguilar-Toalá. 2020. Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Res. Int.* 136:109502. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502>
- Fuochi, V., M. A. Coniglio, L. Laghi, A. Rescifina, M. Caruso, A. Stivala, P. M. Furneri, and G. Di Bonaventura. 2019. Metabolic Characterization of Supernatants Produced by *Lactobacillus* spp. With in vitro Anti- Legionella Activity. 10:1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01403>
- Ghosh, S., C. S. Whitley, B. Haribabu, and V. R. Jala. 2021. Regulation of Intestinal Barrier Function by Microbial Metabolites. *Cmgh.* 11:1463–1482. <https://doi.org/10.1016/j.jcmgh.2021.02.007>
- Guimarães, J. T., E. K. Silva, C. S. Ranadheera, J. Moraes, R. S. L. Raices, M. C. Silva, M. S. Ferreira, M. Q. Freitas, M. A. A. Meireles, and A. G. Cruz. 2019. Effect of high-intensity ultrasound on the nutritional profile and volatile compounds of a prebiotic soursop whey beverage. *Ultrason. Sonochem.* 55:157–164. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.025>
- Hernández-Granados, M. J., and E. Franco-Robles. 2020. Postbiotics in human health: Possible new functional ingredients? *Food Res. Int.* 137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109660>
- Huang, G., S. Chen, Y. Tang, C. Dai, L. Sun, H. Ma, and R. He. 2019. Stimulation of low intensity ultrasound on fermentation of skim milk medium for yield of yoghurt peptides by *Lactobacillus paracasei*. *Ultrason. Sonochem.* 51:315–324. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.033>
- Klemashevich, C., C. Wu, D. Howsmon, R. C. Alaniz, K. Lee, and A. Jayaraman. 2014. ScienceDirect Rational identification of diet-derived postbiotics for improving intestinal microbiota function. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.10.006>
- Koleilat, A. 2019. Beyond probiotics the Postbiotics. *Gastroenterol. Hepatol. Open Access.* 10:324–326. <https://doi.org/10.15406/ghoa.2019.10.00404>

- Kooiman, K., M. Foppen-Harteveld, A. F. W. Van Der Steen, and N. De Jong. 2011. Sonoporation of endothelial cells by vibrating targeted microbubbles. *J. Control. Release.* 154:35–41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2011.04.008>
- Kudo, N., K. Okada, and K. Yamamoto. 2009. Sonoporation by single-shot pulsed ultrasound with microbubbles adjacent to cells. *Biophys. J.* 96:4866–4876. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2009.02.072>
- Liu, Q., Z. Yu, F. Tian, J. Zhao, H. Zhang, Q. Zhai, and W. Chen. 2020. Surface components and metabolites of probiotics for regulation of intestinal epithelial barrier. *Microb. Cell Fact.* 19:1–11. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-1289-4>
- Malashree, L., V. Angadi, K. S. Yadav, and R. Prabha. 2019. “Postbiotics” - One Step Ahead of Probiotics. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 8:2049–2053. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.214>
- Mayorgas, A., I. Dotti, and A. Salas. 2021. Microbial Metabolites, Postbiotics, and Intestinal Epithelial Function. *Mol. Nutr. Food Res.* 65:1–17. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202000188>
- Min, S., G. A. Evrendilek, and H. Q. Zhang. 2007. Pulsed electric fields: Processing system, microbial and enzyme inhibition, and shelf life extension of foods. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 35:59–73. <https://doi.org/10.1109/TPS.2006.889290>
- Moradi, M., S. A. Kousheh, H. Almasi, A. Alizadeh, J. T. Guimarães, N. Yilmaz, and A. Lotfi. 2020. Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19:3390–3415. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12613>
- Moradi, M., R. Molaei, and J. T. Guimarães. 2021. A review on preparation and chemical analysis of postbiotics from lactic acid bacteria. *Enzyme Microb. Technol.* 143. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109722>
- Murata, M., J. Kondo, N. Iwabuchi, S. Takahashi, K. Yamauchi, F. Abe, and K. Miura. 2018. Effects of paraprobiotic *Lactobacillus paracasei* MCC1849 supplementation on symptoms of the common cold and mood states in healthy adults. *Benef. Microbes.* 9:855–864. <https://doi.org/10.3920/bm2017.0197>
- Nataraj, B. H., S. A. Ali, P. V. Behare, and H. Yadav. 2020. Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microb. Cell Fact.* 19:1–22. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>
- Nishida, K., D. Sawada, Y. Kuwano, H. Tanaka, T. Sugawara, Y. Aoki, S. Fujiwara, and K. Rokutan. 2017. Daily administration of paraprobiotic *Lactobacillus gasseri* CP2305 ameliorates chronic stress-associated symptoms in Japanese medical students. *J. Funct. Foods.* 36:112–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.031>
- Noonan, S., M. Zaveri, E. Macaninch, and K. Martyn. 2020. Food & mood: a review of supplementary prebiotic and probiotic interventions in the treatment of anxiety and depression in adults. *BMJ Nutr. Prev. Heal.* 3:351–362. <https://dx.doi.org/10.1136%2Fbmjnph-2019-000053>

- Peluzio, M. do C. G., J. A. Martinez, and F. I. Milagro. 2021. Postbiotics: Metabolites and mechanisms involved in microbiota-host interactions. *Trends Food Sci. Technol.* 108:11–26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.004>
- Plaza-Diaz, J., F. J. Ruiz-Ojeda, M. Gil-Campos, and A. Gil. 2019. Mechanisms of Action of Probiotics. *Adv. Nutr.* 10:S49–S66. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy063>
- Rad, A. H., L. Aghebati-Maleki, H. S. Kafil, and A. Abbasi. 2021a. Molecular mechanisms of postbiotics in colorectal cancer prevention and treatment. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 61:1787–1803. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1765310>
- Rad, A. H., L. Aghebati-Maleki, H. S. Kafil, N. Gilani, A. Abbasi, and N. Khani. 2021b. Postbiotics, as dynamic biomolecules, and their promising role in promoting food safety. *Biointerface Res. Appl. Chem.* 11:14529–14544. <https://doi.org/10.33263/BRIAC116.1452914544>
- Rad, A. H., L. A. Maleki, H. S. Kafil, H. F. Zavošti, and A. Abbasi. 2020. Postbiotics as novel health-promoting ingredients in functional foods. *Heal. Promot. Perspect.* 10:3–4. <http://dx.doi.org/10.15171/hpp.2020.02>
- Rodrigues, D., C. H. Santos, T. A. P. Rocha-Santos, A. M. Gomes, B. J. Goodfellow, and A. C. Freitas. 2011. Metabolic profiling of potential probiotic or synbiotic cheeses by nuclear magnetic resonance (NMR) Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 59:4955–4961. <https://doi.org/10.1021/jf104605r>
- Ruiz-Briseño, M. del R., K. Sánchez-Reyes, M. Alvarez-Zavala, L. A. González-Hernández, M. Ramos-Solano, and A.-V. J. F. 2018. Homeostasis intestinal: colaboración del sistema inmune con la microbiota. *Rev. Médica MD.* 9:337–340. <https://bit.ly/3swIzey>
- Santiago-López, L., A. Hernández-Mendoza, H. S. Garcia, V. Mata-Haro, B. Vallejo-Cordoba, and A. F. González-Córdova. 2015. The effects of consuming probiotic-fermented milk on the immune system: A review of scientific evidence. *Int. J. Dairy Technol.* 68:153–165. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12202>
- Shin, H. S., S. Y. Park, D. K. Lee, S. A. Kim, H. M. An, J. R. Kim, M. J. Kim, M. G. Cha, S. W. Lee, K. J. Kim, K. O. Lee, and N. J. Ha. 2010. Hypocholesterolemic effect of sonication-killed *Bifidobacterium longum* isolated from healthy adult Koreans in high cholesterol fed rats. *Arch. Pharm. Res.* 33:1425–1431. <https://doi.org/10.1007/s12272-010-0917-7>
- Taranto, M., M. Médici, and G. Font de Valdez. 2005. Alimentos funcionales probióticos Dras. María Pía Taranto, Marta Médici y Graciela Font de Valdez * Probiotic functional foods. *Aliment. Pharmacol. Ther.* 4:26–34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86340104>
- Teame, T., A. Wang, M. Xie, Z. Zhang, Y. Yang, Q. Ding, C. Gao, R. E. Olsen, C. Ran, and Z. Zhou. 2020. Paraprobiotics and Postbiotics of Probiotic Lactobacilli, Their Positive Effects on the Host and Action Mechanisms: A Review. *Front. Nutr.* 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.570344>
- Tomasik, Przemyslaw, and Piotr Tomasik. 2020. Probiotics, non-dairy prebiotics and postbiotics in nutrition. *Appl. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3390/app10041470>

- Tsilingiri, K., T. Barbosa, G. Penna, F. Caprioli, A. Sonzogni, G. Viale, and M. Rescigno. 2012. Probiotic and postbiotic activity in health and disease: Comparison on a novel polarised ex-vivo organ culture model. *Gut*. 61:1007–1015. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-300971>
- Wegh, Carrie A.M., Sharon Y. Geerlings, Jan Knol, Guus Roeselers, and Clara Belzer. 2019. "Postbiotics and Their Potential Applications in Early Life Nutrition and Beyond" *International Journal of Molecular Sciences* 20, no. 19: 4673. <https://doi.org/10.3390/ijms20194673>
- Żółkiewicz, J., A. Marzec, M. Ruszczyński, and W. Feleszko. 2020. Postbiotics—a step beyond pre- and probiotics. *Nutrients*. 12:1–17. <https://doi.org/10.3390/nu12082189>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo de Revisión

Tecnologías emergentes no térmicas para la conservación de carne fresca y productos cárnicos

Non-thermal emerging technologies for the preservation of fresh meat and meat products

Sergio Díaz-Almanza¹, Alma Delia Alarcón-Rojo e Iván Adrián García-Galicia^{1*}

¹ Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Fco. R. Almada km 1. Chihuahua, Chih. C.P. 31453.

*Correspondencia: igarciag@uach.mx (García-Galicia Iván Adrián)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.829>

Recibido: 02 de agosto de 2021; Aceptado: 09 de noviembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

La búsqueda por una mejor conservación de la carne y sus productos es una constante dentro de la industria alimentaria. Dentro de los procesos de conservación, la descontaminación de microorganismos es una de las áreas en la que más se ha enfocado la investigación, el desarrollo y la innovación de metodologías, ya sea por un beneficio al producto alimenticio durante su almacenamiento, procesamiento o vida de anaquel, o por una reducción a problemas de salud en el consumidor causados por posible contaminación bacteriana. Existe una gran variedad de metodologías de conservación que se han desarrollado. Desafortunadamente, la mayoría de ellas conllevan alteraciones estructurales, nutricionales o sensoriales indeseables, sobre todo aquellos procesos térmicos que implican alteraciones en la temperatura de la carne o sus productos. En años recientes se ha puesto especial atención a metodologías de conservación emergentes no térmicas (Irradiación, luz ultravioleta, ultrasonido, campo de pulsos eléctricos, altas presiones hidrostáticas, antimicrobianos naturales y tecnologías de barrera), considerando a estas como una alternativa excelente, dado que no afectan la calidad del alimento. Este documento es una revisión de las tecnologías emergentes no térmicas aplicadas actualmente en el procesamiento de productos cárnicos, la combinación de varias de estas tecnologías y la investigación para su potencial implementación en el futuro.

Palabras clave: calidad de la carne, reducción microbiana, ultrasonido de alta intensidad, vida de anaquel.

Abstract

The search for better preservation of meat and meat products is a constant within the food industry. Within the conservation processes, decontamination of microorganisms is the area in which the research, development and innovation of methodologies has mostly focused, either for a benefit to the food product during its storage, processing or shelf life, or for a reduction in consumer health problems. There is a wide variety of conservation methodologies that have been developed. Unfortunately, most of them involve undesirable structural, nutritional, or sensory alterations, especially those that involve alterations in the temperature of the meat or its products. In recent years, special attention has been paid to non-thermal conservation methodologies (Irradiation, ultraviolet light, high-intensity ultrasound, electric pulse field, high hydrostatic pressure, natural antimicrobials and Hurdle technology), considering these as an excellent alternative, since they do not affect the quality of the food. This document is a review of non-thermal emerging processing technologies commonly applied to meat products, new trends, as well as the combination of various technologies for future implementation.

Keywords: meat quality, microbial reduction, high-intensity ultrasound, shelf life

1. Introducción

La contaminación física, química y biológica de los alimentos puede causar enfermedades en el consumidor. La contaminación biológica puede resultar ser la más significativa ya que causa la mayoría de las enfermedades transmitidas por alimentos a nivel global (Khan *et al.*, 2016). El procesamiento térmico da como resultado productos con una mayor vida de anaquel debido a su gran efectividad para la inactivación de microorganismos. Sin embargo, estos pueden tener efectos adversos sobre las propiedades nutricionales y funcionales de los alimentos. El mayor reto en la aplicación de tecnologías térmicas es evitar la pérdida de calidad nutricional y conservar la frescura de los productos (Peña-Gonzalez *et al.*, 2019). En la actualidad existe una creciente concientización de los consumidores por una vida más saludable, lo que lleva a una mayor demanda de productos mínimamente procesados, libre de aditivos químicos, listos para consumir, de alta calidad, de apariencia fresca, con aroma y sabor naturales (Pinton *et al.*, 2019). Sin embargo, los alimentos listos para consumir son una fuente importante de enfermedades de origen alimenticio. Las tecnologías no térmicas de procesamiento han surgido a partir de la necesidad de satisfacer esas demandas del consumidor, sin comprometer la inocuidad alimentaria (Aymerich *et al.*, 2008; Hygreeva y Pandey, 2016).

La carne es un alimento de gran aceptación en México. Además, es nutritiva y con características organolépticas deseables. Sin embargo, este alimento puede proveer de un excelente ambiente para la proliferación de microorganismos patógenos y causantes de descomposición. Por ello, las tecnologías de procesamiento para carne deben reducir el riesgo biológico y al mismo tiempo conservar las características deseables de contenido nutricional y propiedades organolépticas (Baños *et al.*, 2012; Hygreeva y Pandey, 2016). Existe un aumento en la demanda de productos naturales, reducidos en sal, reducidos en grasas o sin conservadores químicos. Para poder cumplir con estas demandas sin afectar la inocuidad alimentaria, los científicos o tecnólogos de alimentos investigan, desarrollan e implementan nuevas tecnologías de procesamiento como las tecnologías no térmicas (Aymerich *et al.*, 2008).

Algunas tecnologías no térmicas consideradas para la implementación a nivel industrial son: irradiación (gamma, electrones de alta energía y rayos X), luz ultravioleta, campos de pulsos

eléctricos, altas presiones hidrostáticas, antimicrobianos naturales y ultrasonido. Adicionalmente se ha considerado la utilización de estas tecnologías en combinación con tratamientos térmicos ligeros tales como: calentamiento óhmico, microondas, radiofrecuencia y vapor, entre otras. A la combinación de dos o más de estas tecnologías se le llama “Tecnología de Barreras” o Hurdle technologies, cuyo objetivo es mejorar su efectividad. Estas herramientas alternativas no utilizan temperaturas elevadas, garantizan la reducción de carga microbiana, conservan una apariencia natural del alimento, presentan un ahorro de energía y son amigables con el medio ambiente (Aymerich *et al.*, 2008; Hygreeva y Pandey, 2016).

Este documento es una revisión sistemática y actual del efecto de dichas tecnologías, sobre la inocuidad alimentaria, las propiedades organolépticas y el contenido nutricional de la carne fresca y sus productos.

2. Revisión

Irradiación

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2016) existen dos tipos de radiación, la no-ionizante y la ionizante. La radiación no ionizante es aquella energía radioactiva que solo tiene suficiente energía para excitar la materia (Longitud de onda > 100 nm. Baja energía de fotón <12.4 eV. Campo electromagnético de 1 Hz a 3×10^{15} Hz). Ejemplos de esta radiación son las microondas, la luz solar, la luz infrarroja, etc. Por el contrario, la radiación ionizante es capaz de producir iones cargados o provocar la ionización de la materia. Esta es una energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Ejemplos de energía ionizante son; rayos x o rayos gamma.

La tecnología de irradiación consiste en la descontaminación de alimentos mediante la exposición del alimento a radiación ionizante controlada con alta precisión por un periodo de tiempo definido. La cual es generada al retirar un electrón del orbital de un átomo, lo que conlleva a la formación de iones. Su objetivo es la desnaturalización de los enlaces moleculares del ADN (Ácido desoxirribonucleico) cromosomal y de la membrana citoplásmica de la célula, causando muerte celular de microorganismos, insectos u otras plagas y de esta forma alargar la vida en anaquel del alimento. La efectividad de la irradiación depende principalmente de la cantidad absorbida, medida en grays (Gy) Existen dos tipos de tratamiento de irradiación en alimentos: pasteurización por radiación, la cual consiste en la destrucción de microorganismos sin incluir las esporas con dosis de baja energía (1-10 kGy) y la esterilización por radiación, que consiste en la eliminación de *Clostridium botulinum*. Sin embargo, para lograrla es necesaria una cantidad de energía por arriba de 40 kGy, una cantidad mucho mayor al límite permisible para la irradiación de alimentos que es de 10 Gy. A esta dosis máxima permisible ocurre un ligero incremento de temperatura cuando es aplicado en agua (aproximadamente 2.5 °C) por lo que la irradiación es considerada como un procesamiento no térmico. Adicionalmente, conserva la frescura y características nutricionales y organolépticas. Sin embargo, en algunos casos se han encontrado efectos negativos en aspectos sensoriales y color, aunque se pueden reducir al incorporar agentes antioxidantes o mediante la utilización de empaques activos (Aymerich *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2016).

Según la literatura, se ha encontrado mayor resistencia a radiación ionizante cuando los microorganismos se encuentran en gran estrés por inanición, cuando se encuentran en presencia de monóxido de carbono, de peróxido de hidrógeno, en estrés osmótico, estrés alcalino y estrés térmico. La efectividad de la irradiación además de la cantidad absorbida, también depende del tipo, cantidad de energía, tiempo de exposición, la sensibilidad del microorganismo. Además, son importantes también las características propias del alimento como capacidad de absorción, pH, temperatura, contenido de grasa, sal, aditivos, actividad de agua, cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Factores ambientales también tiene efecto en la efectividad, tales como la presencia de oxígeno (Khan *et al.*, 2016).

Dependiendo de su fuente, la irradiación de alimentos se puede producir por tres distintas técnicas: rayos gamma, electrones de alta energía (e-beam) y rayos X (Khan *et al.*, 2016). A continuación, se discuten las técnicas mencionadas.

Los rayos gamma son comúnmente generados por la industria mediante el uso de cobalto 60 ya que produce rayos gamas fuertes además de ser insoluble en agua, aunque también pueden originarse con cesio 137, los cuales son una fuente de radionucleidos. Los rayos gamma tienen una alta capacidad de penetración, por lo que es adecuado para el procesamiento de empaques de gran tamaño. Se conoce que a dosis de hasta 10 kGy no existe ningún efecto adverso, más de 26 países utilizan esta tecnología no térmica de procesamiento (Huq *et al.*, 2015). Los rayos gamma han sido utilizados para la reducción de carga microbiana en carne y productos cárnicos, entre los microorganismos objetivo se encuentran: *E. coli*, *Salmonella spp*, *Campylobacter spp*, *Vibrio spp*, entre otros microorganismos patógenos y de deterioro. En la Tabla 1 se muestran las dosis de irradiación administradas de acuerdo con el producto alimenticio y el microorganismo objetivo (Khan *et al.*, 2016). Al someter carne de cangrejo a radiación gama a 2, 4 y 6 kGy, se encontró que las dos dosis más bajas resultaron con mejores condiciones de procesamiento. Esto debido a que estas presentaron reducciones de 2.1 y 5.35 log en *Listeria monocytogenes*, sin cambios negativos en color y textura (Suklim *et al.*, 2014).

Tabla 1.- Dosis de irradiación gamma de acuerdo al microorganismo objetivo y al material biológico.

Table 1.- Gamma irradiation dose according to the target microorganism and the biological material.

Producto alimenticio	Microorganismo objetivo	Dosis (kGy)
Insectos	microorganismos de deterioro	>1
Pollo y sus derivados	<i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i>	3-4.5 en producto fresco 7 en producto congelado
Carne roja	<i>E. coli</i> O157:H7 entre otros patógenos	3-4.5 en producto fresco 7 en producto congelado
Ancas de rana	<i>Salmonella</i>	5
Productos sanguíneos	Patógenos y de deterioro	5-10
Mariscos	<i>E. coli</i> , <i>Vibrio spp</i>	1.5-3
Dietas médicas especiales	Patógenos y de deterioro	45

Referencia: IFST 2015.

Los electrones de alta energía son generados mediante aceleradores de electrones industriales y pueden ser utilizados en pequeñas piezas de alimento para su descontaminación superficial ya que

tiene baja capacidad de penetración. La aplicación de los electrones a una energía de 10 MeV tiene una profundidad de penetración de aproximadamente 4 cm. Esto debido a que pierde energía continuamente mediante una serie de interacciones con los orbitales de electrones del medio de propagación (Aymerich *et al.*, 2008). La aplicación de electrones de alta energía ha sido ampliamente documentada en superficies cárnicas, con dosis de 103–105 Gy/s. Esta tecnología se considera con ventajas sobre las otras radiaciones porque es más seguras para el consumidor y se pueden utilizar mayores dosis para inactivación bacteriana en comparación con rayos gama (Li *et al.*, 2015). Se ha utilizado con éxito para decontaminación de pollo, res, pescado, carne congelada, carne refrigerada y canales completas (Kundu, *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015; Arshad *et al.*, 2019).

La irradiación es efectiva en la reducción de carga bacteriana sobre superficies de bacterias totales, coliformes y *Salmonella sp* (Li *et al.*, 2015; Arshad *et al.*, 2019). La aplicación de electrones de alta energía a canales de res mostró una reducción en el conteo de *E. coli*, con reducción de hasta 4.5 log CFU/g en los conteos. Mientras que *Salmonella sp* presentó mayor resistencia en contra de la irradiación, con una reducción de 1.9 log CFU/g al ser aplicada una dosis de 1 kGy (Kundu *et al.*, 2014). De manera importante, se resalta que la aplicación de electrones de alta energía, no afecta parámetros sensoriales, ni genera compuestos indeseables como ácidos grasos *trans*, en carne de pato. Aunque se observaron desventajas de su uso, decolorando la carne y promoviendo oxidación de lípidos (Arshad *et al.*, 2019).

Los rayos X son un tipo de radiación ionizante con la capacidad de pasar a través de materiales de hasta 40 cm de grosor. Por lo que una ventaja de ellos es que pueden aplicarse a productos cárnicos empacados, evitando el riesgo de recontaminación. Mientras que su desventaja es que se requiere de una gran inversión inicial y costos elevados de mantenimiento, así como de un diseño especial de la planta procesadora para evitar la exposición del personal a los rayos X. De acuerdo con agencias sanitarias como la Food and Drugs Administration (Estados Unidos), los niveles máximos de radiación en alimentos no deben exceder el límite de 10 kGy (Ricciardi *et al.*, 2019; FDA, 2020).

Al comparar el efecto de la fuente de la irradiación ionizante (gamma, rayos X y electrones de alta energía) y la dosis (0, 2.5, 5, 7.5, 10 kGy) sobre propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbianas en carne para hamburguesa y salchicha a base de carne de puerco, no se encontró diferencia entre tratamientos en el pH de los productos cárnicos. En el caso de color, los electrones de alta energía causaron un mayor decremento en el parámetro rojo de la carne para hamburguesa. Mientras que, en salchichas a base de carne de puerco, los rayos gama causaron decremento. De igual forma, al aumentar la dosis de rayos gama, se disminuyó el parámetro rojo. No se encontró diferencia en la aceptabilidad de salchichas sin importar el tratamiento.

En carne para hamburguesa los rayos gamma afectaron negativamente la aceptabilidad general. Se observó una aceleración en la oxidación lipídica mediante la irradiación. Los electrones de alta energía causaron la reducción más efectiva en el conteo de bacterias aerobias totales en carne para hamburguesa. Mientras que en salchichas la exposición a rayos gamma causó la mayor reducción, siendo más efectiva al aumentar la dosis (Ham *et al.*, 2017).

La irradiación de alimentos a dosis bajas es un método de procesamiento no térmico seguro para el consumidor, que logra la disminución de microorganismos sin alterar las características

nutricionales y sensoriales del producto alimenticio. Sin embargo, se presentan retos en la producción y en el mercado de los productos con tratamiento de irradiación. Uno de esos retos es el rechazo por parte del consumidor a los productos irradiados, ya que existe falta de información que resulta en que los consumidores tengan una percepción de riesgo para la salud al consumir productos irradiados (IFST, 2015).

Luz ultravioleta

La luz ultravioleta (UV) es un tipo de radiación no ionizante, cuyo rango operacional se encuentra entre los 100 y 400 nm de longitud de onda del espectro electromagnético para el procesamiento de alimentos. La luz UV puede ser generada por varias fuentes. Las lámparas de mercurio son ampliamente utilizadas debido al bajo costo y riesgo bajo que representan su utilización a la salud de los operadores. La aplicación de UV en el alimento tiene como objetivo reducir la carga microbiana, conservando la calidad fisicoquímica y organoléptica al alargar la vida en anaquel. Puede ser clasificada en tres grupos de acuerdo con su longitud de onda: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (menor de 280 nm) (Loconsole and Santamaria, 2021). La UV-C es la más utilizado en el área de alimentos debido a que ha demostrado mayor actividad en contra de microorganismos. De forma más específica, una longitud de onda de 253.7 nm es la que cuenta con mayor poder letal en microorganismos, debido a que es la longitud de onda en donde se absorben en mayor cantidad los fotones en el ADN de los microorganismos. Dichos fotones crean puentes cruzados entre las pirimidinas cercanas de una misma cadena de ADN (Silva *et al.*, 2015).

La aplicación de UV a los alimentos de manera general consiste en la exposición directa del alimento a la luz UV. Inicialmente, se utilizó en superficies para procesamiento de alimentos, posteriormente en alimentos líquidos y superficies de alimentos sólidos. En la actualidad, con la utilización de lámparas de gas inerte (*i.e.* Xenón) que producen pulsos intensos de luz UV que consisten de radiación electromagnética con ondas en el rango de 100 a 1100 nm (luz visible, UV e infraroja), también se aplica a alimentos semi- y sólidos (Keklik *et. al.* 2012).

Se han realizado estudios con aplicación de luz UV en forma de pulsos de aproximadamente 100 μ s. Con esta aplicación por pulsos se ha observado resultados más efectivos para la inactivación de microorganismos. La aplicación de UV-C puede ser utilizada para la disminución de la carga microbiana de *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella enterica*. Un estudio en carne de rana inicialmente inoculada con *S. aureus* resultó en una disminución significativa al aplicar el tratamiento de UV-C a dosis bajas (0.65 mW/s/cm²), medias (1.04 mW/s/cm²) y altas (1.68 mW/s/cm²), en comparación con la carne de rana sin tratamiento de luz UV, sin diferencias significativas entre dosis (Silva *et al.*, 2015). Cuando la radiación UV-C fue suministrada en forma de pulso (1000 pulsos, 200 s, 5.4 J/cm²) a carne de pollo, se encontró una reducción de las células viables de *S. entérica* y *L. monocytogenes* inoculadas en la superficie del pollo de 2–2.4 log₁₀ (N/N₀) UFC/ml, sin tener un efecto significativo en la percepción de las características organolépticas como; olor, sabor y color (Paskeviciute *et al.*, 2011). Al aplicarse la luz UV-C en salchichas, se encontró un efecto de inhibición de microorganismos como *Salmonella sp* y *S. aureus*. Este efecto fue más efectivo al combinarse con compuestos como lactato de potasio, diacetato de sodio y éster de

arginato láurico, sin efectos perjudiciales sobre el color o la textura de las salchichas (Sommers *et al.*, 2010).

Ultrasonido

El ultrasonido es definido como las ondas sonoras a una frecuencia mayor a la que puede ser escuchada por el oído humano, correspondiente a frecuencias mayores a 20kHz. El uso de ultrasonido se puede dividir en dos grandes categorías: ultrasonido de baja intensidad y ultrasonido de alta intensidad (UAI). En el UAI se utilizan intensidades mayores a 10 W/cm² y frecuencias entre 20 kHz y 1000 kHz. En este tipo de ultrasonido (destrutivo) el material es afectado a nivel celular generando daños en micro o macro escala (McClements y Sundaram, 1997). Los equipos de ultrasonido se encargan de convertir la energía eléctrica a energía mecánica, parte de la cual se pierde en forma de calor y el resto puede ser aprovechado en el medio. Cuando el ultrasonido es aplicado en un medio acuoso se genera compresión y rarefacción de las moléculas generando pequeñas burbujas de vapor que colapsan en implosión liberando energía al medio de propagación, a este fenómeno se le denomina cavitación. Cuando las burbujas implotan se generan grandes y veloces cambios localizados de presiones y temperatura. Los efectos de la cavitación pueden ser físicos (microchorros, turbulencia, ondas de choque, estrés de corte) y químicos (generación de radicales libres y productos moleculares) (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019).

La frecuencia de ultrasonicación es uno de los parámetros responsables del efecto o acción mecánica del ultrasonido sobre la carne. Al aplicar ondas ultrasónicas con una frecuencia por debajo de 100 kHz se crean una menor cantidad de burbujas de cavitación, pero de un mayor tamaño. Las cuales al implotar liberan gran cantidad de energía al medio favoreciendo los efectos físicos. Al aplicar ondas ultrasónicas con frecuencias mayores a 100 kHz se crean mayor número de burbujas de cavitación, pero de un menor tamaño, liberando menor energía al medio y generando radicales libres en el medio. Por lo que estas condiciones de procesamiento favorecen los efectos químicos de la cavitación (Zupanc *et al.*, 2019). Se han encontrado efectos benéficos al aplicar ultrasonido a alimentos tales como: promover la transferencia de masa, activación o inhibición de enzimas, reducción de carga microbiana, mejora de características organolépticas como el color, emulsificación, cristalización, homogenización, rompimiento de células y ablandamiento de carne (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Turantaş *et al.*, 2015; Almanza-Rubio *et al.*, 2016).

El deterioro de la carne se da principalmente por crecimiento microbiológico y por oxidación lipídica. Lo cual puede resultar en pérdidas económicas y en un riesgo de salud para el consumidor en caso de que no se realice un adecuado almacenamiento, distribución o procesamiento (Turantaş *et al.*, 2015). El UAI es una herramienta alternativa no térmica que ha sido investigada para la disminución de cargas microbianas en cárnicos (Turantaş *et al.*, 2015). Se ha encontrado disminución de coliformes totales, bacterias mesófilas y psicrófilas, mediante gradientes de presión y temperatura que pueden destruir la membrana celular y su ADN, causando la muerte celular (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Díaz-Almanza *et al.*, 2019). Adicionalmente, se han encontrado efectos antimicrobianos en contra de *Salmonella typhimurium*, *Salmonella derby*, *Salmonella infantis* y *Yersinia enterocolitica* (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Caraveo *et al.*, 2015) y una reducción de hasta 60% de la microflora natural de la carne (Aguilar *et al.*, 2021).

El efecto del UAI sobre los microorganismos depende de las condiciones de ultrasonificación (intensidad, tiempo, frecuencia), el medio de propagación de las ondas ultrasónicas y concentración y especie de los microorganismos (Díaz-Almanza *et al.*, 2019; Zupanc *et al.*, 2019; Aguilar *et al.*, 2021). En la Tabla 2 se muestra el efecto del tratamiento de UAI sobre bacterias Gram positivas.

Tabla 2.- Efecto de ultrasonido de alta intensidad sobre bacterias Gram positivas

Table 2.- Effect of high-intensity ultrasound on Gram positive bacteria

Microorganismo	Ultrasonido	Sistema de estudio	de	Efecto	Referencia
<i>Bacillus subtilis</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 4.5 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Sin efecto significativo	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Staphylococcus pseudintermedius</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Sin efecto significativo	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Bacillus subtilis</i>	Hasta 62 W, 850 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 2.5 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Hasta 62 W, 850 kHz, 20 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 4.4 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	750 W, 20 kHz, 10 min	Suspensión inoculada		Reducción de 72% en solución salina y 84% en leche	(Cameron <i>et al.</i> , 2008)
<i>Listeria innocua</i>	75 y 96 W, 22 y 33 kHz, 60 min	Inoculado bacteriano		Reducción de 4 log	(Inguglia <i>et al.</i> , 2018)
<i>Listeria innocua</i>	0.9 W mL ⁻¹	Simulación de tejido con alcohol polivinílico.	de con	Efecto sinérgico al ultrasonificar con eritrosina B (0.25, 0.5 µM)	(Bastarrachea <i>et al.</i> , 2017)
<i>Mycobacterium species</i> 6PY1	Hasta 411 W mL ⁻¹ , 20 y 612 kHz, 70 min	Suspensión bacteriana		Reducción de 93% al utilizar baja frecuencia y de 35.5% al utilizar alta frecuencia	(Al Bsoul <i>et al.</i> , 2010)

El ultrasonido de frecuencias menores a 100 kHz reduce cargas microbianas principalmente por efectos físicos de la cavitación. Mientras que al utilizar frecuencias mayores de 100 kHz los efectos químicos de la cavitación parecen ser los responsables de la disminución de cargas microbianas. Sin embargo, la inactivación microbiana es un efecto sinérgico de la cavitación (Zupanc *et al.*, 2019). Los efectos físicos generan un daño en la pared celular de las bacterias que además de alterar su funcionamiento, las hace más susceptibles a los efectos químicos de la cavitación. Esto porque se facilita el acceso de los radicales libres y los productos moleculares al interior de la célula. La efectividad del tratamiento de UAI parece ser específico para cada especie. Sin embargo, las

bacterias Gram positivas tienden a ser más resistentes que las bacterias Gram negativas, debido a sus características de la pared celular (Zupanc *et al.*, 2019). En la Tabla 3 se muestra el efecto sobre las bacterias Gram negativas.

La utilización únicamente de UAI suele tener un efecto bajo sobre la reducción de carga microbiana en cárnicos. Por lo que se pueden utilizar combinaciones con otras tecnologías como altas presiones (Evelyn y Silva, 2018), pulsos de campos eléctricos (Huang *et al.*, 2006), irradiación (Tremarin *et al.*, 2017), compuestos químicos (Bastarrachea *et al.*, 2017; Dolan *et al.*, 2018) y temperatura (Li *et al.*, 2017; Carrillo-Lopez *et al.*, 2017).

Tabla 3.- Efecto de ultrasonido de alta intensidad sobre bacterias Gram negativas

Table 3.- Effect of high intensity ultrasound on Gram negative bacteria

Microorganismo	Ultrasonido	Efecto	Referencia
<i>Enterobacter aerogenes</i>	13 W, 20 kHz, 20 min	Reducción de 4.4 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Enterobacter aerogenes</i>	62 W, 850 kHz, 20 min	Reducción de 4.2 log	(Gao <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Escherichia coli</i>	750 W, 20 kHz, 10 min	Reducción de 99%	(Cameron <i>et al.</i> , 2008)
<i>Escherichia coli</i> K12	96 W y 33 kHz, 60 min	Reducción de 6 log	(Inguglia <i>et al.</i> , 2018)
<i>Escherichia coli</i>	252 W cm ⁻² , 20 kHz, 12 min	Reducción de 98%	(Liao <i>et al.</i> , 2018)

La textura es una propiedad importante de la carne que afecta en la aceptación al momento del consumo. La ternura o suavidad es la propiedad de textura más importante, se refiere a la facilidad de masticar la carne hasta el punto en que esta lista para deglutir (Coll Cardenas and Olivera, 2016).

En cuanto a la mejora de textura en productos cárnicos por el UAI los resultados parecen ser muy variados. Por un lado se reportan mejoras en textura en carne de bovino *Longissimus dorsi* (Kang *et al.*, 2017; Peña-González *et al.*, 2017; Peña-Gonzalez *et al.*, 2019), *Longissimus lumborum* (Barekat and Soltanizadeh, 2017; Diaz-Almanza *et al.*, 2019), *Semitenidinosus* (Jayasooriya *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018), *Semimembranosus* (Stadnik and Dolatowski, 2011), sirloin (Roberts, 1991), flank (falda) (Zou *et al.*, 2018), en donde la disminución de la dureza es comúnmente atribuido a los efectos físicos de la cavitación acústica, resultando en daño en el perimisio (Roberts, 1991), ruptura de la estructura de proteínas miofibrilares y de colágeno (Peña-Gonzalez *et al.*, 2019) y un mayor índice de fragmentación miofibrilar (Kang *et al.*, 2017). Sin embargo, otros autores reportan nulo efecto en ternura al aplicar ultrasonido, atribuyendo comúnmente a que las condiciones de sonicación no fueron lo suficientemente intensas (Gambuteanu and Alexe, 2013; Sikes *et al.*, 2014; Wan *et al.*, 2018). Otros autores reportan un aumento en la dureza al aplicar UAI a carne de puerco en solución salina, en donde este aumento en la textura es atribuido a un aumento en la ganancia de sal (Ozuna *et al.*, 2013). También se han encontrado mejoras en la transferencia de masa, facilitando la impregnación de cloruro de sodio durante el marinado en solución salina asistido con ultrasonido (Visy *et al.*, 2021).

En el ultrasonido de baja intensidad se utilizan intensidades menores a 1 W/cm² y frecuencias mayores a 1MHz, este tipo de ultrasonido es no destructivo, es una metodología rápida que puede

ser automatizada además de ser relativamente económica. En el área de alimentos, este tipo de ultrasonido es utilizado para análisis de composición o para caracterización de los alimentos, de acuerdo con la capacidad de los componentes del alimento para refractar o absorber las ondas ultrasónicas. La metodología consiste en propagar la onda ultrasónica a través del material, obteniendo información de las propiedades del material mediante la medición de parámetros ultrasónicos tales como velocidad ultrasónica, coeficiente de atenuación o impedancia acústica (McClements y Sundaram, 1997; Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Fulladosa *et al.*, 2015).

Algunos estudios han sido realizados en productos cárnicos tales como: caracterización de productos cárnicos curados secos (Corona *et al.*, 2013a), composición de mezclas de carne (Benedito *et al.*, 2001), evaluación de textura en embutidos (Corona *et al.*, 2013; Llull *et al.*, 2002), contenido de grasa y sal en jamón (Fulladosa *et al.*, 2015), contenido de sal en carne de cerdo (García-Pérez *et al.*, 2015; De Prados *et al.*, 2016), predicción de contenido de carne magra (Fortin *et al.*, 2004) y grado de marmoleo en *Longissimus dorsi* (Haumschild y Carlson, 1983).

En la mayoría de estas investigaciones, la variable ultrasónica medida es la velocidad, ya que es la más simple y confiable. Es importante controlar las variables que puedan afectar en las lecturas de las propiedades ultrasónicas, ya que se ha demostrado que la temperatura (Benedito *et al.*, 2001), la frecuencia (Kerhervé *et al.*, 2019) y la compresión en muestras cárnicas (Díaz-Almanza *et al.*, 2021) afectan sobre las lecturas de propiedades acústicas, tales como; velocidad de fase acústica y atenuación ultrasónica.

A pesar de las ventajas de la utilización del UAI, también se han reportado algunos efectos negativos en sobre algunos parámetros de importancia de la carne. El color es una de las propiedades más importantes debido a que es la primera impresión del consumidor en el mercado, considerando el color rojo cereza como el más deseable ya que generalmente lo relaciona con el grado de frescura y sabor de la carne (Tapp *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2019). El UAI puede tener un efecto adverso en las propiedades de color, se ha reportado disminución en las características deseables con cambios a colores menos rojos y más pálidos (Caraveo *et al.*, 2015; Peña-Gonzalez *et al.*, 2019). Al aplicar UAI en carne, se han encontrado una disminución de hasta 50% de los fosfatos necesarios para la elaboración de emulsiones cárnicas (Pinton *et al.*, 2019).

Campo de pulsos eléctricos o campos eléctricos pulsados

El procesamiento de campo de pulsos eléctricos (Pulsed Electric Fields, PEF por sus siglas en inglés) es una tecnología de procesamiento no térmico que se encuentra en crecimiento ya que genera productos alimenticios seguros microbiológicamente, nutritivos y de apariencia fresca. Adicionalmente tiene ventajas económicas y de ahorro de energía. Es comúnmente utilizada en alimentos líquidos de modo continuo o semicontinuo. Sin embargo, también puede ser utilizado en alimentos sólidos en procesamiento por lotes. Sus primeras utilidades datan de 1960 en Alemania, en donde fue patentado y utilizado en salchichas (Khan *et al.*, 2016).

La tecnología de PEF consiste en la aplicación de un campo eléctrico entre 20 y 80 kV/cm sobre un alimento situado en medio de dos electrodos. Estos generan pulsos eléctricos cortos con duración entre 1 y 100 μ s. Para que la tecnología de PEF sea efectiva en la inactivación de microorganismos

patógenos y de descomposición, debe de considerarse el tipo de pulso (monopolar o bipolar) y el tipo de onda (sinusoidal, cuadrado o de caída exponencial). Otros factores que afectan la efectividad de PEF son: los factores de proceso, como la fuerza del campo eléctrico, número de pulsos, tiempo de procesamiento, temperatura, forma del pulso, amplitud del pulso, polarización, frecuencia, energía específica y diseño del equipo. Otros factores propios del microorganismo también pueden intervenir en la efectividad de los PEF. Ejemplos de esos factores son: la concentración, la susceptibilidad del microorganismo, su especie y tipo, sus condiciones de crecimiento, la composición del medio de crecimiento, la temperatura a la cual se desarrolla, la concentración de oxígeno, entre otros. Los factores del producto alimenticio también influyen, tales como: composición, presencia de partículas, azúcares, sales, espesantes, conductividad, fuerza iónica, pH, actividad de agua, entre otros. El mecanismo de destrucción celular mediante la tecnología de PEF se debe a la ruptura eléctrica de las células a través de electroporación (Khan *et al.*, 2016).

Los PEF causan un diferencial de potencial eléctrico a través de la membrana celular, esto se llama potencial de transmembrana. Cuando el potencial transmembranal es mayor al potencial natural de la célula (generalmente cercano a 1 V) se forman poros reduciendo el grosor de la membrana celular. Esto resulta en un incremento de la transferencia de masa de moléculas, iones e incluso componentes celulares en ambos sentidos de la membrana. Dependiendo del proceso de aplicación de PEF, el efecto de electroporación puede ser reversible o irreversible. En las aplicaciones en alimentos, el efecto del PEF sobre las poblaciones bacterianas es normalmente irreversible. De manera que la membrana bacteriana sufre una disrupción permanente, resultando en la muerte (Arroyo *et al.*, 2014; Buchman y Mathys, 2019).

La inactivación de microorganismos se correlaciona linealmente con la intensidad de PEF. Por lo que a mayor intensidad mayor inactivación de microorganismos. Sin embargo, a intensidades muy elevadas se pueden afectar características organolépticas de los productos. Se han encontrado efectos sinérgicos de la utilización de PEF con tratamiento térmico, resultando en una reducción de carga microbiana y una extensión en la vida en anaquel de productos alimenticios (Khan *et al.*, 2016).

El uso de PEF en carne y pescado se ha relacionado con la mejora en la conservación del color, incremento de la ternura y añejado. Además, ha probado incrementar la capacidad de retención de agua de la carne en productos como pescado. Específicamente en carne de res (*Longissimus lumborum* y *Semimembranosus*) la aplicación de PEF (10 kV, 90 Hz and 20 μ s) incrementa la ternura de la carne por un posible efecto de aceleramiento de la proteólisis, junto con el efecto físico de los pulsos. Adicionalmente, no se detecta la formación de olores y sabores indeseables o la oxidación de lípidos en ese tipo de carne por aplicación de PEF (Swandy *et al.*, 2015). Recientemente, Gomes *et al.* (2019) publicaron un a revisión reciente de efecto de PEF sobre la ternura de res y pavo, con más de diez documentos soportando que se reduce la dureza de la carne hasta en un 21.6 %. Lo cual se considera una ventaja en la producción de carne, ya que la ternura es el parámetro organoléptico más importante para el consumidor.

Altas Presiones Hidrostáticas (APH)

Este método de procesamiento consiste en aplicar al alimento presiones entre 100 y 1000 MPa. El procedimiento consiste en introducir dicho alimento dentro de un empaque flexible y colocarlo en una cámara de altas presiones. La presión se transmite de forma uniforme en todas las direcciones a través del empaque hasta el alimento, por medio de un fluido de transmisión de presión (generalmente agua) (Giménez *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2016; Salazar *et al.*, 2021). A pesar de ello, las cámaras de procesamiento comerciales tienen un límite de 700 MPa (Giménez *et al.*, 2015). Al igual que el proceso de irradiación esta tecnología incrementa tan poco la temperatura, que es considerada como no térmica. Se considera un aumento aproximado de temperatura de 3 °C por cada 100 MPa de presión aplicada. Las APH son utilizadas principalmente en alimentos como; jugos, frutas, mariscos y productos cárnicos como jamón cocido, jamón curado, algunas comidas precocinadas con pavo, cortes de pollo y cerdo, comidas precocinadas de aves de corral, jamón de Parma, mortadela, tocino, salami y otros embutidos ahumados o no ahumados (Hereu *et al.*, 2012; Giménez *et al.*, 2015; Hygreeva and Pandey, 2016; Salazar *et al.*, 2021).

Las APH requieren de una alta inversión inicial. Sin embargo, su costo de operación es bajo. Adicionalmente, este proceso alternativo tiene buena aceptabilidad por el consumidor en Europa. La importancia de APH radica en su efectividad en el control de microorganismos en un producto alimenticio, mientras mantiene su frescura y textura por un tiempo prolongado sin la necesidad de la utilización de conservadores. Las ventajas que tienen las APH a comparación de métodos tradicionales de energía térmica son: menor daño por calor, menor tiempo de procesamiento, retención de frescura, textura y color, retención de vitaminas, cambios mínimos durante la congelación del material y menores cambios indeseables en las propiedades funcionales (Khan *et al.*, 2016). Estas ventajas son atribuidas a que la presión no afecta sobre los enlaces covalentes de las moléculas, por lo que se conservan estas características de calidad (Salazar *et al.*, 2021) La metodología de APH puede llevarse a cabo en alimentos sólidos y líquidos, por medio de tres distintas formas: por lotes, continuo o semicontinuo. En los casos de procesamiento continuo o semicontinuo, el alimento debe ser fluido bombeable y posterior al tratamiento debe empacarse asépticamente. En el caso del procesamiento por lotes los productos pueden ser sólidos o fluidos, siendo posible su procesamiento dentro de su empaque.

Las APH tienen efectos deseables en los alimentos, ya que producen desnaturalización de proteínas en organelos bacterianos como la membrana, inactivación de enzimas, cambios en interacción enzima con sustrato, así como en grasas y carbohidratos. Adicionalmente, conserva las características nutricionales, vitaminas y sustancias responsables del sabor y aroma del alimento, lo cual resulta en modificaciones mínimas a las características sensoriales de productos cárnicos. Se han utilizado APH para la preservación de distintos alimentos, como pollo, puerco, productos cárnicos, surimi y salmón, con efectos positivos en actividad proteolítica, propiedades de textura, sabor y aroma (Giménez *et al.*, 2015).

La descontaminación del alimento se da debido a que el daño celular ocurre en una primera instancia en la membrana celular con un consecuente cambio en la permeabilidad, causando pérdida de fluido intracelular e inhibiendo las reacciones bioquímicas celulares. También ocurren cambios en la morfología, mecanismo genético, los sistemas de transporte, pérdida de respuesta

osmótica e incapacidad de mantener el pH (Aymerich *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2015). Sin embargo, su efectividad depende de varios factores como: tipo de microorganismo, fase de crecimiento, presión aplicada, tiempo de procesamiento, composición del alimento, temperatura, pH y actividad de agua.

En general, las bacterias Gram negativas son más sensibles a las APH que las Gram positivas. El tratamiento es más efectivo cuando los microorganismos se encuentran en la fase de crecimiento *log*, teniendo el menor grado de efectividad en la fase estacionaria. Varios autores coinciden que las esporas bacterianas son altamente resistentes a presiones en el rango de 150 a 400 MPa a temperaturas de entre 25 a 40 °C. Moderadas presiones en el rango de 50 a 300 MPa pueden incluso inducir germinación de dichas esporas (Black *et al.*, 2007; Woldemariam y Emire, 2019). Altas presiones en el rango de 500 a 1000 MPa con temperaturas de 50 °C, también se han observado inducir germinación de esporas. Por ello se reconoce que, para la reducción o eliminación total de esporas, es necesaria la combinación de APH con otros métodos de desinfección (tecnologías de barrera) como la adición de compuestos antimicrobianos como nisina o enzimas, doble exposición a APH o pre-tratamientos térmicos (Daher *et al.*, 2017; Modugo *et al.*, 2020). La combinación de presiones mayores a 600 MPa y temperaturas en el rango de 70 – 90 °C, por 20 a 120 minutos, reducen la carga de esporas de *Bacillus spp* y *Clostridium spp* de 4 a 7.5 log (Zhang *et al.*, 2008; Woldemariam y Emire, 2019).

La presión más comúnmente utilizada para el tratamiento de productos cárnicos es en un rango de 300 a 600 MPa, por cortos periodos de tiempo, que van desde un min hasta 20 min. Los cuales son tratamientos suficientes para la reducción de distintos microorganismos como *E. coli*, *Campylobacter jejuni*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. typhimurium* y *Yersinia enterocolitica*. En ese rango de presión se da una pérdida de color en la carne, ya que a presiones mayores a 300 MPa se desnaturaliza la mioglobina, perdiendo el hierro del grupo hemo (Giménez *et al.*, 2015). Para una reducción de 12D de *Clostridium botulinum* es necesaria una combinación de APH con presiones de 530 MPa y un tratamiento térmico por arriba de los 70 °C. En este tratamiento combinado se obtienen mejores características de calidad fisicoquímicas como el color, en comparación con el método de esterilización sin combinar, ya que es menos severo contra dichas características fisicoquímicas (Aymerich *et al.*, 2008; Hygreeva y Pandey, 2016). Un tratamiento entre 400 y 500 MPa suele ser suficiente para alcanzar el grado de seguridad objetivo para productos cárnicos, mientras que uno entre 700 y 800 MPa es suficiente para carne fresca (Aymerich *et al.*, 2008). Sin embargo, las condiciones de procesamiento más favorables en cuanto a seguridad y la relación costo-efectividad son aplicando presiones entre 350 y 400 MPa en combinación con temperaturas entre 60 y 80 °C, y tiempos de entre 1 a 15 min (Khan *et al.*, 2016).

Se han realizado investigaciones en donde se observa una disminución de las características de calidad y pérdida de compuestos activos durante el almacenaje, tales como pérdida de aroma y color y oxidación lipídica, debido a una actividad enzimática residual (Salazar *et al.*, 2021). La utilización de APH en carne fresca tiene como consecuencia un cambio negativo en el color, debido a una desnaturalización de la mioglobina (Szerman *et al.*, 2011). Mientras que en los productos cárnicos este cambio es muy pequeño, dando como resultado un producto final con color aceptable y con estabilidad microbiológica (Giménez *et al.*, 2015). La mayor ventaja de la utilización de APH sobre parámetros organolépticos en carne es la mejora de la terneza. La mejora en la dureza de la carne por las APH depende principalmente del tiempo *post-mortem* en que estas son aplicadas y el

nivel presión. De manera general, la reducción de dureza se debe a los efectos de las APH (100 a 300 MPa) aplicadas *pre-rigor mortis* sobre las proteínas de la carne. Esto consiste en: solubilización de proteínas miofibrilares (actina -miosina), desintegración de proteínas de línea Z, despolimerización de F-actina, rupturas de banda I, disociación y deformación de miosina, lo cual en conjunto provoca la fragmentación y ruptura de la estructura fibrilar. Sin embargo, presiones mayores a 400 HPa o aplicación *post-rigor mortis* puede ocasionar efectos nulos o incremento de la dureza por oxidación de proteínas (Bolumar *et al.*, 2020).

Antimicrobianos Naturales

El uso de nitratos y nitritos para la conservación de productos cárnicos es utilizado desde hace mucho tiempo (850 D.C.), aunque en aquel entonces era una impureza de la sal. Los nitritos son utilizados principalmente para el curado de productos cárnicos con varias funciones. Por ejemplo, estos otorgan el color rosa característico de embutidos, estabilizan el sabor, retardan la oxidación y confieren actividad antimicrobiana. Además, los nitritos inhiben el crecimiento de bacterias aeróbicas y adicionalmente reducen la germinación de esporas y previenen la formación de toxinas botulínicas. Sin embargo, a pesar de las grandes ventajas que poseen, la seguridad de los nitritos ha sido discutida por la potencial capacidad que tienen para producir *N*-nitrosaminas carcinogénicas en tejido adiposo de productos curados cuando estos son sometidos a altas temperaturas (Subramanian *et al.*, 2014).

De manera general, los consumidores tienen la percepción de que la utilización de conservadores artificiales es dañina para la salud, por lo que existe una tendencia en la utilización de compuestos antimicrobianos naturales (Lemay *et al.*, 2002; Subramanian *et al.*, 2014; Weiss *et al.*, 2015).

Los antimicrobianos pueden provenir de microorganismos, plantas y animales (Hugo y Hugo, 2015). El objetivo de la utilización de antimicrobianos naturales es extender la vida en anaquel y la inocuidad alimentaria mediante el uso de compuestos naturales o microflora natural, principalmente bacterias ácido lácticas (BAL), así como los compuestos antimicrobianos producidos, como el ácido láctico, bacteriocinas, entre otros (Hugo y Hugo, 2015).

Las BAL, entre ellas las asociadas con carne, son microorganismos que pueden ser una buena alternativa para reemplazar conservadores químicos (Yépez *et al.*, 2017). Las BAL pueden actuar como antimicrobianos debido a varios factores como: competencia por nutrientes y producción de compuestos antimicrobianos como ácidos orgánicos, dióxido de carbono, peróxido de hidrógeno, diacetil, etanol y bacteriocinas. Esta tecnología consiste en la aplicación del compuesto natural o las células bacterianas directamente en la masa del alimento, rociado en la superficie o agregado por medio de empaques activos. Al aplicarse BAL a productos cárnicos embutidos, se han encontrado aumentos en la vida de anaquel de hasta 19 días (Vermeiren *et al.*, 2004).

El grado de efectividad de la herramienta de antimicrobianos en productos cárnicos fermentados depende de la capacidad del cultivo de crecer y producir los compuestos antimicrobianos en el alimento (Vermeiren *et al.*, 2004; Aymerich *et al.*, 2008). Las BAL pueden generar bacteriocinas, las cuales son compuestos antibacterianos hipoalergénicos, termoestables, fácilmente degradable por enzimas del tracto intestinal humano (Aymerich *et al.*, 2008). La nisina es una bacteriocina utilizada

industrialmente, con gran efectividad en contra de microorganismos de deterioro y patógenos, especialmente Gram positivos de carne fresca, así como de embutidos. No obstante, existe información con resultados contrarios, en donde la efectividad de los cultivos productores de bacteriocinas es reducida, debido a su baja actividad en contra de microorganismos Gram negativos, pérdida espontánea de generación de bacteriocinas, difusión limitada en alimentos sólidos, inactivación por enzimas proteolíticas y una baja adaptación al medio (Lemay et al., 2002; Vermeiren et al., 2004).

Otro ejemplo reciente de la herramienta microbiana es el caso de *Weissella hellenica*. Esta es una cepa descubierta en China en productos cárnicos fermentados. La *W. hellenica* ha sido reportada como adecuada para la biopreservación de productos cárnicos fermentados, ya que genera la bacteriocina denominada weissellicina D. Esta bacteriocina presenta actividad contra microorganismos patógenos y de deterioro tales como; *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli*, algunos hongos y levaduras. Adicionalmente se considera ideal para la utilización en alimentos y particularmente en embutidos porque presenta estabilidad térmica y al pH (Chen et al., 2014).

Cuando se utilizan cultivos antagonistas en los productos cárnicos para actuar en contra de microorganismos patógenos o de deterioro sin tener un cambio en las propiedades sensoriales, o con un cambio mínimo se denominan cultivos protectores. La mayoría de las investigaciones realizadas en el uso de cultivos protectores en productos cárnicos se centran en su antagonismo por competencia de nutrientes y mediante la formación de compuestos antimicrobianos en contra de microorganismos patógenos (Vermeiren et al., 2004).

El uso de soluciones de ácido láctico (1%) en canales de cerdo ha demostrado disminuir la carga de coliformes totales, *Campylobacter jejuni*, *Salmonella thyphirium*, y al ser utilizado en combinación con ácido ascórbico presenta actividad en contra de *E. coli* (Khan et al., 2016). El uso de compuestos adicionales como lactato de sodio o cloruro de sodio en combinación con las BAL han demostrado acción en contra de algunos microorganismos como *Brochothrix thermosphacta*, *S. aureus*, *Salmonella* y *Listeria* (Lemay et al., 2002; Aymerich et al., 2008). Las BAL han sido utilizadas en pescado fresco, con resultados positivos tanto para la disminución de microorganismos patógenos y de deterioro como para las características organolépticas, resultando una tecnología adecuada para su implementación en el mercado (Gómez-Sala et al., 2016). Las BAL homofermentativas, tolerantes a la sal, psicrófilas y adaptadas a sustratos cárnicos tienen gran potencial para su uso en la biopreservación de productos cárnicos (Vermeiren et al., 2004). La utilización de *Lactobacillus sp* y *Lactobacillus brevis* en productos cárnicos refrigerados fue eficaz en contra de *Yersinia enterocolitica* debido a la producción de ácido láctico y la disminución del pH (Castellano et al., 2008; Angmo et al., 2016). *Lactobacillus curvatus* CRL705 presentó actividad en contra de *Listeria innocua* y *Brochothrix thermosphacta* sin un efecto considerable en el pH (Castellano et al., 2008). Jones et al. (2008) encontraron en carne fresca, que los microorganismos *Lactobacillus sakei* y *Lactobacillus lactis* tienen actividad inhibitoria en microorganismos patógenos y de deterioro, como *L. monocytogenes*, *Brochothrix thermosphact*, *Campylobacter jejuni* y *Clostridium estheticum*. *Lactobacillus plantarum* PCS20 y *Lactobacillus delbrueckii* DSM 20074 presentaron actividad antimicrobiana en contra de *Clostridium sp* (Di Gioia et al., 2016). Es común el uso de ácido láctico en conjunto con sus sales en la industria de productos cárnicos, ya que además de impartir sabores deseables, también aumenta su vida en anaquel. Adicionalmente, se ha demostrado actividad en contra de microorganismos como

C. botulinum, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp* y *E. coli* (Aymerich et al., 2008).

Además de bacterias se han empleado levaduras como *Debaryomyces hansenii* en productos cárnicos curados secos, con resultados favorables mostrando actividad en contra de *Penicillium nordicum*, un hongo ocratoxigénico muy común en este tipo de productos. Las ocratoxinas son altamente tóxicas, mostrando efectos nefrotóxicos, carcinógenos, inmunotóxicos, genotóxicos y teratogénicos. La inhibición de hongos en productos cárnicos de humedad intermedia es importante porque estos productos aun contienen una actividad de agua suficientemente elevada para el desarrollo de hongos y para la producción de micotoxinas. (Andrade et al., 2014).

Otro tipo de compuestos antimicrobianos utilizados son los provenientes de plantas, ya que estos pueden alargar la vida en anaquel de productos cárnicos como salchichas, disminuir la oxidación y prevenir la pérdida de color (Hugo y Hugo, 2015). Los aceites esenciales han demostrado tener actividad antimicrobiana. Al utilizarse el aceite esencial de *Mentha piperita* (Compuesto principalmente de mentol e isomentona) se encontró una limitación del deterioro microbiológico, resultando en una mejora en la vida de anaquel de los productos cárnicos. Sin embargo, al utilizar el aceite esencial en conjunto con bacteriosinas (BacTN635), resultó en una mayor efectividad antimicrobiana, se disminuyó la acumulación de metamioglobina, mejoró la aceptabilidad sensorial y se aumentó la vida en anaquel por hasta 7 días adicionales (Smaoui et al., 2016). Mientras que al utilizar aceite esencial de mostaza se encontró una reducción de bacterias mesofílicas aerobias (Lemay et al., 2002). Al utilizar aceites esenciales de canela, tomillo y romero en pescado fresco y molido en contra de *L. monocytogenes*, se encontró que la mayor actividad antimicrobiana se obtuvo al utilizar el tomillo, seguido de canela y por último romero (Abdollahzadeh et al., 2014). El uso de compuestos polifenólicos extraídos de hojas de cerezo y grosella negra mejoraron la calidad microbiana de salchichas de puerco empacadas al vacío durante el almacenamiento por 14 d en refrigeración (Nowak et al., 2016).

Finalmente, el quitosano es un derivado de la quitina, un polímero natural con potencial uso como compuesto antimicrobiano. Es un compuesto no tóxico, biodegradable, biocompatible y seguro. Es el único antimicrobiano natural de origen animal utilizado en productos cárnicos, con resultados positivos en cuanto a una mayor vida en anaquel de salchichas y actividad antimicrobiana contra patógenos (Hugo y Hugo, 2015). Al ser utilizado en carne de puerco molida se ha encontrado actividad inhibitoria de microorganismos, manteniendo las características de calidad de la carne y alargando su vida en anaquel (Chantarasataporn et al., 2014)

Tecnologías de barreras (Hurdle)

Se han encontrado efectos benéficos en la combinación de varias tecnologías convencionales para la conservación de los alimentos, tales como: uso de antimicrobianos naturales, APH, ultrasonido, irradiación, control de pH, control de actividad de agua, atmósferas modificadas y aplicación de temperaturas medias. A esta combinación de tecnologías convencionales se le llama Tecnología de Barreras o "Technologies Hurdle" en inglés (Chawla y Chander, 2004; Khan et al., 2016). Gran cantidad de productos cárnicos listos para consumir son desarrollados utilizando una combinación de tecnologías. Se desea conseguir la conservación de productos cárnicos e

incrementar la inocuidad alimentaria con menor cantidad de energía aplicada al alimento. Se han encontrado resultados positivos al aplicar una combinación de tratamientos de irradiación gama, reducción de actividad de agua (valores de 0.85) y empaque al vacío a productos cárnicos (kebabs). Estos efectos positivos fueron debido a que *C. botulinum* es incapaz de crecer y *S. aureus* no puede generar enterotoxinas en ambientes con actividad de agua reducida. Adicionalmente, *S. aureus* no puede desarrollarse en condiciones anaerobias y con una actividad de agua menor a 0.91. Por otro lado, para lograr la reducción de la actividad de agua del producto, en este estudio se necesitó suministrar calor, lo cual pudo causar una reducción de la carga inicial de microorganismos (Chawla y Chander, 2004).

El uso de antimicrobianos naturales como compuestos bioactivos o bacteriocinas, compuestos antioxidantes como los compuestos fenólicos, empaques activos o empaques inteligentes, en combinación con APH es una forma viable y efectiva para el desarrollo de productos cárnicos completamente seguros y bajos en sal (Hygreeva y Pandey, 2016). En jamón curado se ha encontrado un efecto sinérgico en contra de *Listeria monocytogenes*, mediante la utilización de irradiación ionizante (rayos gamma) en combinación con nisina y aceites esenciales de orégano y canela (Huq et al., 2015). La enterocina AS-48 es una bacteriocina que ha demostrado actividad en contra de microorganismos de descomposición. Esta actividad fue incrementada al utilizarse en combinación con nitritos, tripolifosfato pentasódico, pirofosfato de sodio, acetato de sodio y lactato de sodio, resultando en una reducción de UFCs de *Lactobacillus sakei*, *B. thermosphacta* y *Staphylococcus carnosus*, mejorando así la inocuidad alimentaria de jamón curado seco (Baños et al., 2012).

Al someter un producto cárnico a APH (300-600 MPa / 5 min) en combinación con inmersión en una solución conservadora compuesta por ácido ascórbico, nitrito de sodio y cloruro de sodio, se obtuvieron resultados favorables en el producto final, con un color aceptable y con estabilidad microbiana (Giménez et al., 2015). Al comparar el tratamiento de APH con el de biopreservación por nisina, el proceso de APH presentó mayor efectividad en contra de *L. monocytogenes* en jamón cocido. Sin embargo, el mejor tratamiento para la reducción bacteriana y la conservación de características fisicoquímicas como pH y porcentaje de agua fue mediante la combinación de ambos tratamientos (Hereu et al., 2012).

La combinación de ultrasonido (30-40 kHz) de alta intensidad con vapor (90-94 °C) por 10 s en carne de pollo mostró una reducción de *Campylobacter* de 1 log a comparación de solo vapor (Musavian et al., 2014). Por otro lado, la combinación de ultrasonido (30 to 40 kHz) con vapor (130 °C, presión de 3.5 a 5 atmósferas) por 2 s en carne de cerdo no mostró diferencia significativa en el conteo de *Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica* y *Escherichia coli*. Posiblemente debido a los tiempos cortos de tratamiento (Morild et al., 2011). La combinación de ultrasonido de alta intensidad con ácido láctico a diferentes concentraciones (1 - 3 %) causó una reducción de UFC de *Salmonella sp* (Kordowska-Wiater y Stasiak, 2011), *Campylobacter jejuni* (Kassem et al., 2018) y *Pseudomonas fluorescens* (Kordowska-Wiater y Stasiak, 2011) a comparación de la aplicación aislada de ultrasonido de alta intensidad.

3. Conclusiones

Los métodos no térmicos de procesamiento para productos cárnicos que se discuten en el presente documento, incluyendo: irradiación iónica, luz UV, APH, ultrasonido y tecnologías de barrera, parecen tener un futuro prometedor en la industria cárnica. Aunque aún es necesaria la exploración experimental sobre parámetros de aplicación, todos ellos ya han demostrado su capacidad de reducción eficaz de cargas bacterianas, tanto patógenas como de descomposición de los alimentos. Algunos de ellos como el ultrasonido, también ha demostrado beneficios sobre características sensoriales como la terneza de la carne o el pH.

En el caso de antimicrobianos naturales se han observado beneficios organolépticos y mejoras del pH. Todos estos beneficios, puede ser de utilidad para productores y procesadores de carne, ya que pueden contribuir a alcanzar los niveles de inocuidad alimentaria demandados por los consumidores e instancias reguladoras, sin comprometer las características nutricionales y sensoriales, comúnmente degradadas por los métodos térmicos en los alimentos.

De manera sobresaliente, cuando se utilizan estas tecnologías en combinación se observan mayores ventajas que utilizarlas de manera aislada. Dichas ventajas pueden ser; el ahorro de energía, tratamientos menos severos en contra de las propiedades funcionales, contenido nutricional o características organolépticas del producto final, además de mayores niveles de reducción de bacterias tanto de descomposición como patógenas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés con respecto al trabajo presentado en este reporte.

Referencias

- Abdollahzadeh, E., M. Rezaei, and H. Hosseini. 2014. Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. *Food Control* 35:177–183. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCONT.2013.07.004>
- Aguilar, C., J. Serna-Jiménez, E. Benitez, V. Valencia, O. Ochoa, and L. I. Sotelo. 2021. Influence of high power ultrasound on natural microflora, pathogen and lactic acid bacteria in a raw meat emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry* 72:105415. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105415>
- Alarcon-Rojo, A. D., L. M. Carrillo-Lopez, R. Reyes-Villagrana, M. Huerta-Jiménez, and I. A. Garcia-Galicia. 2019. Ultrasound and meat quality: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry* 55:369–382. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>
- Almanza-Rubio, J. L., N. Gutiérrez-Méndez, M. Y. Leal-Ramos, D. Sepulveda, and I. Salmeron. 2016. Modification of the textural and rheological properties of cream cheese using thermosonicated milk. *Journal of Food Engineering* 168:223–230. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.002>

- Andrade, M. J., L. Thorsen, A. Rodríguez, J. J. Córdoba, and L. Jespersen. 2014. Inhibition of ochratoxigenic moulds by *Debaryomyces hansenii* strains for biopreservation of dry-cured meat products. *International Journal of Food Microbiology* 170:70–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.004>
- Angmo, K., A. Kumari, Monika, Savitri, and T. Chand Bhalla. 2016. Antagonistic activities of lactic acid bacteria from fermented foods and beverage of Ladakh against *Yersinia enterocolitica* in refrigerated meat. *Food Bioscience* 13:26–31. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.fbio.2015.12.004>
- Arroyo, C., D. Lascorz, L. O'Dowd, F. Noci, J. Arimi, and J. G. Lyng. 2014. Effect of Pulsed Electric Field treatments at various stages during conditioning on quality attributes of beef longissimus thoracis et lumborum muscle. *Meat Science* 99:52–59. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.08.004>
- Arshad, M. S., J. H. Kwon, R. S. Ahmad, K. Ameer, S. Ahmad, and Y. Jo. 2020. Influence of E-beam irradiation on microbiological and physicochemical properties and fatty acid profile of frozen duck meat. *Food Sci. Nutr.* 8:1020–1029. <http://doi.org/10.1002/fsn3.1386>.
- Aymerich, T., P. A. Picouet, and J. M. Monfort. 2008. Decontamination technologies for meat products. *Meat Science* 78:114–129. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.007>
- Baños, A., S. Ananou, M. Martínez-Bueno, A. Gálvez, M. Maqueda, and E. Valdivia. 2012. Prevention of spoilage by enterocin AS-48 combined with chemical preservatives, under vacuum, or modified atmosphere in a cooked ham model. *Food Control* 24:15–22. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.foodcont.2011.08.001>
- Barekat, S., and N. Soltanizadeh. 2017. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 39:223–229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.009>
- Bastarrachea, L. J., M. Walsh, S. P. Wrenn, and R. V. Tikekar. 2017. Enhanced antimicrobial effect of ultrasound by the food colorant Erythrosin B. *Food Research International* 100:344–351. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.012>
- Benedito, J., J. A. Carcel, C. Rossello, and A. Mulet. 2001. Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science* 57:365–370. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(00\)00113-3](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00113-3)
- Black, E. P., P. Setlow, A. D. Hocking, C. M. Stewart, A. L. Kelly, and D. G. Hoover. 2007. Response of Spores to High-Pressure Processing. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 6:103–119. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00021.x>
- Bolumar, T., V. Orlien, A. Sikes, K. Aganovic, K. H. Bak, C. Guyon, A. S. Stübler, M. de Lamballerie, C. Hertel, and D. A. Brüggemann. 2021. High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 20:332–368. <http://doi.org/10.1111/1541-4337.12670>.
- Buchmann, L., and A. Mathys. 2019. Perspective on Pulsed Electric Field Treatment in the Bio-based Industry. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7:265. <http://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00265>.
- Al Bsoul, A., J. P. Magnin, N. Commenges-Bernole, N. Gondrexon, J. Willison, and C. Petrier. 2010. Effectiveness of ultrasound for the destruction of *Mycobacterium* sp. strain (6PY1). *Ultrasonics Sonochemistry* 17:106–110. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.04.005>

- Cameron, M., L. D. McMaster, and T. J. Britz. 2008. Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 15:960–964. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.02.012>
- Caraveo, O., A. D. Alarcon-Rojo, A. Renteria, E. Santellano, and L. Paniwnyk. 2015. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95:2487–2493. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6979>
- Carrillo-Lopez, L. M., A. D. Alarcon-Rojo, L. Luna-Rodriguez, and R. Reyes-Villagrana. 2017. Modification of Food Systems by Ultrasound. *Journal of Food Quality* 2017:1–12. <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Castellano, P., C. Belfiore, S. Fadda, and G. Vignolo. 2008. A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina. *Meat Science* 79:483–499. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.10.009>
- Chang, H.-J., Q. Wang, C.-H. Tang, and G.-H. Zhou. 2015. Effects of Ultrasound Treatment on Connective Tissue Collagen and Meat Quality of Beef Semitendinosus Muscle. *Journal of Food Quality* 38:256–267. <http://dx.doi.org/10.1111/jfq.12141>
- Chang, H. J., X. L. Xu, G. H. Zhou, C. B. Li, and M. Huang. 2012. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing. *Food and Bioprocess Technology* 5:285–297. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0269-9>
- Chantarasataporn, P., P. Tepkasikul, Y. Kingcha, R. Yoksan, R. Pichyangkura, W. Visessanguan, and S. Chirachanchai. 2014. Water-based oligochitosan and nanowhisiker chitosan as potential food preservatives for shelf-life extension of minced pork. *Food Chemistry* 159:463–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.019>
- Chawla, S. P., and R. Chander. 2004. Microbiological safety of shelf-stable meat products prepared by employing hurdle technology. *Food Control* 15:559–563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.09.001>
- Chen, C., X. Chen, M. Jiang, X. Rui, W. Li, and M. Dong. 2014. A newly discovered bacteriocin from *Weissella hellenica* D1501 associated with Chinese Dong fermented meat (Nanx Wudl). *Food Control* 42:116–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.031>
- Coll Cardenas, F. J., and D. F. Olivera. 2016. *Texture Changes in Meat During Storage*. Elsevier, pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03294-7>
- Corona, E., J. V. Garcia-perez, T. E. G. Alvarez-arenas, N. Watson, M. J. W. W. Povey, J. Benedito, T. E. Gomez Alvarez-Arenas, N. Watson, M. J. W. W. Povey, and J. Benedito. 2013a. Advances in the ultrasound characterization of dry-cured meat products. *Journal of Food Engineering* 119:464–470. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.023>
- Corona, E., J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. Benedito. 2013b. Ultrasonic assessment of textural changes in vacuum packaged sliced Iberian ham induced by high pressure treatment or cold storage. *Meat Science* 95:389–395. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.008>

- Daher, D., S. Le Gourrierec, and C. Pérez-Lamela. 2017. Effect of high pressure processing on the microbial inactivation in fruit preparations and other vegetable based beverages. *Agric.* 7:1–18. <http://doi.org/10.3390/agriculture7090072>.
- Díaz-Almanza, S., I. A. García-Galicia, A. L. Rentería-Monterrubio, and R. A. Reyes-Villagrana. 2021. Analysis of the simultaneous measurement of acoustic phase velocity and stress-strain relationship in beef: An approach to Young's modulus. *Applied Acoustics* 182:108237. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108237>
- Díaz-Almanza, S., R. Reyes-Villagrana, A. D. Alarcon-Rojo, M. Huerta-Jimenez, L. M. Carrillo-Lopez, C. Estep, J. Urbina-Perez, and I. A. Garcia-Galicia. 2019. Time matters when ultrasonication beef: The best time for tenderness is not the best for reducing microbial counts. *Journal of Food Process Engineering* 42. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.13210>
- Di Gioia, D., G. Mazzola, I. Nikodinoska, I. Aloisio, T. Langerholc, M. Rossi, S. Raimondi, B. Melero, and J. Rovira. 2016. Lactic acid bacteria as protective cultures in fermented pork meat to prevent *Clostridium* spp. growth. *International Journal of Food Microbiology* 235:53–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.019>
- Dolan, H. L., L. J. Bastarrachea, and R. V. Tikekar. 2018. Inactivation of *Listeria innocua* by a combined treatment of low-frequency ultrasound and zinc oxide. *LWT - Food Science and Technology* 88:146–151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.008>
- Evelyn, and F. V. M. Silva. 2018. Differences in the resistance of microbial spores to thermosonication, high pressure thermal processing and thermal treatment alone. *Journal of Food Engineering* 222:292–297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.037>
- Fortin, A., A. K. W. Tong, and W. M. Robertson. 2004. Evaluation of three ultrasound instruments, CVT-2, UltraFom 300 and AutoFom for predicting salable meat yield and weight of lean in the primals of pork carcasses. *Meat Science* 68:537–49. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.05.006>
- Fulladosa, E., M. De Prados, J. V. García-Perez, J. Benedito, I. Muñoz, J. Arnau, and P. Gou. 2015. X-ray absorptiometry and ultrasound technologies for non-destructive compositional analysis of dry-cured ham. *Journal of Food Engineering* 155:62–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.015>
- Gambuteanu, C., and P. Alexe. 2013. Effects of ultrasound assisted thawing on microbiological, chemical and technological properties of unpackaged pork *Longissimus dorsi*. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology* 37:98–107. <https://bit.ly/3w8I9gz>
- Gao, S., G. D. Lewis, M. Ashokkumar, and Y. Hemar. 2014a. Inactivation of microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: 1. Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria. *Ultrasonics Sonochemistry* 21:446–453. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.06.006>
- Gao, S., Y. Hemar, M. Ashokkumar, S. Paturel, and G. D. Lewis. 2014b. Inactivation of bacteria and yeast using high-frequency ultrasound treatment. *Water Research* 60:93–104. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.038>
- García-Pérez, J. V., M. De Prados, G. Martínez-Escrivá, R. González, A. Mulet, and J. Benedito. 2015. Exploring the use of Low-intensity Ultrasonics as a Tool for Assessing the Salt Content in Pork Meat Products. *Physics Procedia* 70:837–840. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2015.08.171>

- Giménez, B., N. Graiver, A. Califano, and N. Zaritzky. 2015. Physicochemical characteristics and quality parameters of a beef product subjected to chemical preservatives and high hydrostatic pressure. *Meat Science* 100:179–188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.017>
- Gómez, B., P. E. S. Munekata, M. Gavahian, F. J. Barba, F. J. Martí-Quijal, T. Bolumar, P. C. B. Campagnol, I. Tomasevic, and J. M. Lorenzo. 2019. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Res. Int.* 123:95–105. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.047>.
- Gómez-Sala, B., C. Herranz, B. Díaz-Freitas, P. E. Hernández, A. Sala, and L. M. Cintas. 2016. Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: Biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin. *International Journal of Food Microbiology* 223:41–49. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.005>
- Got, F., J. Culioli, P. Berge, X. Vignon, T. Astruc, J. M. Quideau, and M. Lethiecq. 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physicochemical properties of beef. *Meat Science* 51:35–42. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00094-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00094-1)
- Ham, Y. K., H. W. Kim, K. E. Hwang, D. H. Song, Y. J. Kim, Y. S. Choi, B. S. Song, J. H. Park, and C. J. Kim. 2017. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. *Radiation Physics and Chemistry* 130:259–264. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.09.010>
- Haumschild, D. J., and D. L. Carlson. 1983. An ultrasonic Bragg scattering technique for the quantitative characterization of marbling in beef. *Ultrasonics* 21:226–233. <https://core.ac.uk/download/pdf/38918548.pdf>
- Hereu, A., S. Bover-Cid, M. Garriga, and T. Aymerich. 2012. High hydrostatic pressure and biopreservation of dry-cured ham to meet the Food Safety Objectives for *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Food Microbiology* 154:107–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.027>
- Hernández, B., C. Sáenz Gamasa, J. M. Diñeiro Rubial, and C. Alberdi Odriozola. 2019. CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science* 157:107889. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- Huang, E., G. S. Mittal, and M. W. Griffiths. 2006. Inactivation of *Salmonella enteritidis* in Liquid Whole Egg using Combination Treatments of Pulsed Electric Field, High Pressure and Ultrasound. *Biosystems Engineering* 94:403–413. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.03.008>
- Hugo, C. J., and A. Hugo. 2015. Current trends in natural preservatives for fresh sausage products. *Trends in Food Science and Technology* 45:12–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.003>
- Huq, T., K. D. Vu, B. Riedl, J. Bouchard, and M. Lacroix. 2015. Synergistic effect of gamma (γ)-irradiation and microencapsulated antimicrobials against *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) meat. *Food Microbiology* 46:507–514. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.013>
- Hygreeva, D., and M. C. Pandey. 2016. Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology - A review. *Trends in Food Science & Technology* 54:175–185. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.002>

- IFST. 2015. The Use of Irradiation for Food Quality and Safety. Information statement. Institute of Food Science and Technology. <https://www.ifst.org/resources/information-statements/food-irradiation>
- Inguglia, E. S., B. K. Tiwari, J. P. Kerry, and C. M. Burgess. 2018. Effects of high intensity ultrasound on the inactivation profiles of *Escherichia coli* K12 and *Listeria innocua* with salt and salt replacers. *Ultrasonics Sonochemistry* 48:492–498. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.05.007>
- Jayasooriya, S. D., P. J. Torley, B. R. D'Arcy, and B. R. Bhandari. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Science* 75:628–639. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.09.010>
- Jones, R. J., H. M. Hussein, M. Zagorec, G. Brightwell, and J. R. Tagg. 2008. Isolation of lactic acid bacteria with inhibitory activity against pathogens and spoilage organisms associated with fresh meat. *Food Microbiology* 25:228–234. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.11.001>
- Kang, D. cheng, X. qin Gao, Q. feng Ge, G. hong Zhou, and W. gang Zhang. 2017. Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification. *Ultrasonics Sonochemistry* 38:317–325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.026>
- Kassem, A., J. Meade, K. McGill, C. Walsh, J. Gibbons, J. Lyng, and P. Whyte. 2018. An investigation of high intensity ultrasonication and chemical immersion treatments on *Campylobacter jejuni* and spoilage bacteria in chicken. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 45:298–305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.015>
- Keklik, N. M., Krishnamurthy, K., & Demirci, A. 2012. Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light. In *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications* (pp. 344–369). <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.344>
- Kerhervé, S. O., R. M. Guillermic, A. Strybulevych, D. W. Hatcher, M. G. Scanlon, and J. H. Page. 2019. Online non-contact quality control of noodle dough using ultrasound. *Food Control* 104:349–357. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.024>
- Khan, I., C. N. Tango, S. Miskeen, B. H. Lee, and D.-H. Oh. 2016. Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety-A review. *Food Control* 73:1426–1444. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.foodcont.2016.11.010>
- Kordowska-Wiater, M., and D. M. Stasiak. 2011. Effect of ultrasound on survival of gram-negative bacteria on chicken skin surface. *Bull Vet Inst Pulawy* 55:207–210. <https://bit.ly/3MzOSWV>
- Kundu, D., A. Gill, C. Lui, N. Goswami, and R. Holley. 2014. Use of low dose e-beam irradiation to reduce *E. coli* O157: H7, non-O157 (VTEC) *E. coli* and *Salmonella* viability on meat surfaces. *Meat Science* 96:413–418. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.034>
- Lemay, M. J., J. Choquette, P. J. Delaquis, C. Gariépy, N. Rodrigue, and L. Saucier. 2002. Antimicrobial effect of natural preservatives in a cooked and acidified chicken meat model. *International Journal of Food Microbiology* 78:217–226. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(02\)00014-4](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00014-4)
- Li, S., D. Kundu, and R. A. Holley. 2015. Use of lactic acid with electron beam irradiation for control of *Escherichia coli* O157:H7, non-O157 VTEC *E. coli*, and *Salmonella* serovars on fresh and frozen beef. *Food Microbiol.* 46:34–39. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.06.018>

- Li, J., Y. Suo, X. Liao, J. Ahn, D. Liu, S. Chen, X. Ye, and T. Ding. 2017. Analysis of *Staphylococcus aureus* cell viability, sublethal injury and death induced by synergistic combination of ultrasound and mild heat. *Ultrasonics Sonochemistry* 39:101–110. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.04.019>
- Liao, X., J. Li, Y. Suo, S. Chen, X. Ye, D. Liu, and T. Ding. 2018. Multiple action sites of ultrasound on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Food Science and Human Wellness* 7:102–109. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.01.002>
- Llull, P., S. Simal, A. Femenia, J. Benedito, and C. Rosselló. 2002. The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *Journal of Food Engineering* 52:323–330. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00122-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00122-4)
- Loconsole, D., and P. Santamaria. 2021. UV lighting in horticulture: A sustainable tool for improving production quality and food safety. *Horticulturae*. 7:1–13. <http://doi.org/10.3390/horticulturae7010009>.
- McClements, D. J., and G. Sundaram. 1997. Ultrasonic Characterization of Foods and Drinks: Principles, Methods, and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37–41. <https://doi.org/10.1080/10408399709527766>
- Morild, R. K., P. Christiansen, A. H. Sørensen, U. Nonboe, and S. Aabo. 2011. Inactivation of pathogens on pork by steam-ultrasound treatment. *Journal of Food Protection* 74:769–775. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-10-338>
- Modugno, C., C. Peltier, H. Simonin, L. Dujourdy, F. Capitani, C. Sandt, and J. M. Perrier-Cornet. 2020. Understanding the Effects of High Pressure on Bacterial Spores Using Synchrotron Infrared Spectroscopy. *Front. Microbiol.* 10:1–10. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03122>.
- Musavian, H. S., N. H. Krebs, U. Nonboe, J. E. L. Corry, and G. Purnell. 2014. Combined steam and ultrasound treatment of broilers at slaughter: A promising intervention to significantly reduce numbers of naturally occurring campylobacters on carcasses. *International Journal of Food Microbiology* 176:23–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.001>
- Nowak, A., A. Czyzowska, M. Efenberger, and L. Krala. 2016. Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products. *Food Microbiology* 59:142–149. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.004>
- Ozuna, C., A. Puig, J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. A. Cárcel. 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering* 119:84–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016>
- Paskeviciute, E., I. Buchovec, and Z. Luksiene. 2011. High-Power Pulsed Light For Decontamination Of Chicken From Food Pathogens: A Study On Antimicrobial Efficiency And Organoleptic Properties. *Journal of Food Safety* 31:61–68. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4565.2010.00267.x>
- Peña-Gonzalez, E., A. D. Alarcon-Rojo, I. Garcia-Galicia, L. Carrillo-Lopez, and M. Huerta-Jimenez. 2019. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. *Ultrasonics Sonochemistry* 53:134–141. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045>

- Peña-González, E. M., A. D. Alarcón-Rojo, A. Rentería, I. García, E. Santellano, A. Quintero, and L. Luna. 2017. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. *Italian Journal of Food Science* 29:463–475. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v604>
- Pinton, M. B., L. P. Correa, M. M. X. Facchi, R. T. Heck, Y. S. V. Leães, A. J. Cichoski, J. M. Lorenzo, M. dos Santos, M. A. R. Pollonio, and P. C. B. Campagnol. 2019. Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions. *Meat Science* 152:88–95. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.010>
- De Prados, M., J. V. Garcia-Perez, and J. Benedito. 2016. Ultrasonic characterization and online monitoring of pork meat dry salting process. *Food Control* 60:646–655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.009>
- Reyes, J. E., G. Tabilo-Munizaga, M. Pérez-Won, D. Maluenda, and T. Roco. 2015. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatments on microbiological shelf-life of chilled Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 29:107–112. <https://bit.ly/3liEyXb>
- Ricciardi, E. F., V. Lacivita, A. Conte, E. Chiaravalle, A. V. Zambrini, and M. A. Del Nobile. 2019. X-ray irradiation as a valid technique to prolong food shelf life: The case of ricotta cheese. *International Dairy Journal* 99:104547. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104547>
- Roberts, R. T. T. 1991. Sound for processing food. *Nutrition & Food Science* 91:17–18.
- Salazar, F. A., S. Yildiz, D. Leyva, M. Soto-Caballero, J. Welti-Chanes, P. S. Anubhav, M. Lavilla, and Z. Escobedo-Avellaneda. 2021. HHP Influence on Food Quality and Bioactive Compounds: A Review of the Last Decade. *Innovative Food Processing Technologies* 87–111. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22984-3>
- Sikes, A. L., R. Mawson, J. Stark, and R. Warner. 2014. Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 21:2138–2143. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.008>
- Silva, H. L. A., M. P. Costa, B. S. Frasao, E. F. M. Mesquita, S. C. R. P. Mello, C. A. Conte-Junior, R. M. Franco, and Z. B. Miranda. 2015. Efficacy of Ultraviolet-C Light to Eliminate *Staphylococcus Aureus* on Precooked Shredded Bullfrog Back Meat. *Journal of Food Safety* 35:318–323. <https://doi.org/10.1111/jfs.12178>
- Smaoui, S., A. Ben Hsouna, A. Lahmar, K. Ennouri, A. Mtibaa-Chakchouk, I. Sellem, S. Najah, M. Bouaziz, and L. Mellouli. 2016. Bio-preservative effect of the essential oil of the endemic *Mentha piperita* used alone and in combination with BacTN635 in stored minced beef meat. *Meat Science* 117:196–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006>
- Sommers, C. H., J. J. Scullen J, and J. E. Sites. 2010. Inactivation of foodborne pathogens on frankfurters using ultraviolet light and gras antimicrobials. *Journal of Food Safety* 30:666–678. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2010.00232.x>
- Stadnik, J., and Z. J. Dolatowski. 2011. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (*m. semimembranosus*). *European Food Research and Technology* 233:553–559. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-011-1550-5>

- Subramanian, J. H., L. D. Kagliwal, and R. S. Singhal. 2014. Permitted Preservatives – Nitrites and Nitrates. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (92–98 pp). Second Edition. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00267-6>.
- Suklim, K., G. J. Flick, and K. Vichitphan. 2014. Effects of gamma irradiation on the physical and sensory quality and inactivation of *Listeria monocytogenes* in blue swimming crab meat (*Portunas pelagicus*). *Radiation Physics and Chemistry* 103:22–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.05.009>
- Suwandy, V., A. Carne, R. van de Ven, A. E. D. A. Bekhit, and D. L. Hopkins. 2015. Effect of Repeated Pulsed Electric Field Treatment on the Quality of Cold-Boned Beef Loins and Topsides. *Food Bioprocess Technol.* 8:1218–1228. <http://doi.org/10.1007/s11947-015-1485-0>.
- Szerman, N., Y. Barrio, B. Schroeder, P. Martinez, A. M. Sancho, C. Sanow, and S. R. Vaudagna. 2011. Effect of high hydrostatic pressure treatments on physicochemical properties, microbial quality and sensory attributes of beef carpaccio. *Procedia Food Science* 1:854–861. <http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.129>
- Tapp, W. N., J. W. S. Yancey, and J. K. Apple. 2011. How is the instrumental color of meat measured? *Meat Science* 89:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.021>
- Tremarin, A., T. R. S. Brandão, and C. L. M. Silva. 2017. Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *LWT - Food Science and Technology* 78:138–142. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.039>
- Turantaş, F., G. B. Kılıç, and B. Kılıç. 2015. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. *International Journal of Food Microbiology* 198:59–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.026>
- Vermeiren, L., F. Devlieghere, and J. Debevere. 2004. Evaluation of meat born lactic acid bacteria as protective cultures for the biopreservation of cooked meat products. *International Journal of Food Microbiology* 96:149–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.016>
- Visy, A., G. Jónás, D. Szakos, Z. Horváth-Mezófi, K. I. Hidas, A. Barkó, and L. Friedrich. 2021. Evaluation of ultrasound and microbubbles effect on pork meat during brining process. *Ultrasonics Sonochemistry* 75:105589. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105589>
- Wan, Y., H. Wang, W. Wang, L. Zan, and J. Zhu. 2018. Effect of Ultrasound and Calcium Chloride on the Ultrastructure and the Warner-Bratzler Shear Force Value of Beef Shank Muscle Fibers. *Food Biophysics* 13:396–403. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9545-4>
- Wang, A., D. Kang, W. Zhang, C. Zhang, Y. Zou, and G. Zhou. 2018. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. *Food Chemistry* 245:724–730. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.003>
- Weiss, J., M. Loeffler, and N. Terjung. 2015. The antimicrobial paradox: why preservatives loose activity in foods. *Current Opinion in Food Science* 4:69–75. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.008>
- WHO. 2016. Ionizing radiation, health effects and protective measures. *Ioniz. radiation, Heal. Eff. Prot. Meas.* <https://bit.ly/3wuClwP>

- Woldemariam, H. W., and S. A. Emire. 2019. High Pressure Processing of Foods for Microbial and Mycotoxins Control: current trends and future prospects. *Cogent Food Agric.* 5. <http://doi.org/10.1080/23311932.2019.1622184>.
- Yépez, A., C. Luz, G. Meca, G. Vignolo, J. Mañes, and R. Aznar. 2017. Biopreservation potential of lactic acid bacteria from Andean fermented food of vegetal origin. *Food Control* 78:393–400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.009>
- Zhang, H., and G. S. Mittal. 2008. Effects of High-Pressure Processing (HPP) on Bacterial Spores: An Overview. *Food Rev. Int.* 24:330–351. <http://doi.org/10.1080/87559120802089290>.
- Zou, Y., W. Zhang, D. Kang, and G. Zhou. 2018. Improvement of tenderness and water holding capacity of spiced beef by the application of ultrasound during cooking. *International Journal of Food Science and Technology* 53:828–836. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13659>
- Zupanc, M., Ž. Pandur, T. Stepišnik Perdih, D. Stopar, M. Petkovšek, and M. Dular. 2019. Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research. *Ultrasonics Sonochemistry* 57:147–165. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.009>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



FACHADA
FACULTAD DE ENFERMERÍA Y NUTRIOLOGÍA. UACH



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



ESCULTURA
FACULTAD DE ENFERMERÍA Y NUTRIOLOGÍA. UACH



UACH



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología