EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO®

TECTZAPIC®

Revista Académico-Científica

Tecnológico Nacional de México

Instituto de Ciudad Valles

JUNIO 2024 Vol.10 N°1
ISSN: 2444-4944

"Calidad Educativa
Para La Productividad"

TECTZAPIC®
Revista Académico-Científica

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

DIRECTORIO

MAP. Héctor Aguilar Ponce
Director Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Ciudad Valles

M.P.L.E. Luis Medina Urbina
Subdirector de Servicios Administrativos

Dra. Azucena de los Ángeles Gutiérrez Reyes
Subdirectora de Planeación y Vinculación

M.E. Karina Berlanga Reséndiz
Subdirectora Académica

CONSEJO EDITORIAL

MAP. Héctor Aguilar Ponce	*Presidente*
M.E. Karina Berlanga Reséndiz	*Secretaria Académica*
Dra. Azucena De Los Ángeles Gutiérrez Reyes	*Secretaria de Relaciones Internas y Externas*
M.P.L.E. Luis Medina Urbina	*Secretario de Finanzas y Comercialización*
Dr. Jaime Jesús Delgado Meraz	*Secretario Técnico*
M.E. Zenayda Saldierna Cepeda	*Jefa de Información y Jefa de Edición y Producción*
M.T.I. Nitgard Zapata Garay	*Jefe de Edición Digital*
Lic. Leticia Delgado Velázquez	*Jefa de Resguardo*

CÓMITE CIENTÍFICO

Dr. José Porfirio González Farías	*Docente investigador del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya, Posgrado en Gestión Administrativa.*
Dr. Mariano Mendoza Elos	*Docente investigador del Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Roque, División de Investigación de Posgrado*

	e Investigación.
Dra. Laura Georgina Vázquez Lara de la Cruz	*Docente Investigador del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya*
Dr. Jorge Valencia Herverth	*Profesor Investigador del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Huejutla.*

COORDINACIÓN DE PUBLICACIÓN

M.E. Zenayda Saldierna Cepeda
Jefa del Departamento de Comunicación y Difusión.

Dra. Mariela Ramona Michel Michel
Editora

REGISTRO ANTE EL IMPI – No. 2550676

Nombre: TECTZAPIC

Tec- En referencia al origen de la revista del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles.

Tzapic – Significa “fuerte” en el idioma Tének de la región de la Huasteca.

ÍNDICE

Presentación 1

Normas para autores 2

Patogénesis de Enfermedades Bacterianas Asociadas con el Consumo de Productos Lácteos Caprinos Contaminados en México.
Pathogenesis of Bacterial Diseases Associated with the Consumption of Contaminated Goat Dairy Products in Mexico. 6
Dulce María Martínez Ramírez, Sarahí del Carmen Rangel Ortega, Raúl Rodríguez Herrera, Lizeth Guadalupe Campos Múzquiz.

Incremento en las competencias digitales y oportunidades de desarrollo para los estudiantes que obtienen la certificación en Diseño Mecánico (CSWA).
Increase in digital skills and development opportunities for students who obtain certification in Mechanical Design (CSWA). 21
Obed Antonio García Cano, Albero Ramírez Márquez, Carlos Omar Ríos Orozco, Francisco Alberto Barrena Rodríguez.

Evaluación de extractos de residuos de naranja y limón para el control de *Tenebrio molitor.*
Evaluation of orange and lemon residue extracts for the control of *Tenebrio molitor.* 33
Pedro Aguilar-Zárate, Mariela Ramona Michel Michel, Daniel Perales Rosas, Mairel Valle de la Paz.

Gestión del agua y vulnerabilidad climática del Río Valles.
Water Management and Climate Vulnerability of the Valles River. 45
Habacuc Lorenzo Márquez, Baldomero Ponce Medina, Cuitlahuac Mojica Mesinas, Raúl Altamirano Zuñiga.

Fitoquímicos antioxidantes: el caso de *Jatropha dioica, Flourensia cernua, Larrea tridentata, Turnera diffusa and Euphorbia antisiphylitica.*
Antioxidant phytochemicals: the case of *Jatropha dioica, Flourensia cernua, Larrea tridentata, Turnera diffusa and Euphorbia antisiphylitica.* 55
Nestor Everardo Aranda Ledesma, Romeo Rojas-Molina, Claudia Lizeth Robledo-Jimenez, Guillermo Cristian Guadalupe Martínez Ávila.

PRESENTACIÓN

Una Institución de Nivel Superior se caracteriza por el parámetro de excelencia educativa que la distingue, la responsabilidad académica que va más allá de la imagen propuesta y que, en vías de un desarrollo que amerita reconocimiento con base a la experiencia de cuarenta dos años, propone y promueve en la Región de la Huasteca Potosina, una docencia y una investigación de gran alcance y compromiso, en lo que compete al proceso enseñanza-aprendizaje, apegado al modelo y enfoque por competencias.

Si bien es sabido, algunos teóricos, al referirse a la investigación como trabajo intelectual avalado por fuentes originales, cuyo fundamento sostiene su credibilidad y permanencia, sostienen que la verdadera intencionalidad creadora de proponer alternativas posibles encaminadas a una también posible solución, es resultado de teoría y praxis, cuya exposición y aplicación participativa, perfecciona lo establecido, innova lo investigado, corrobora lo previamente propuesto, sostiene con nuevos y/o novedosas aportaciones que el problema a investigar, es de alguna u otra manera inacabable y siempre susceptibles de nueva búsqueda y cambio. Por lo que, en general y substancialmente, la investigación da pie a procesos asiduos y permanentes cuya amplitud cognoscitiva, definitivamente conlleva responsabilidad, compromiso y respeto por el trabajo propio y por el de los demás.

TECTZAPIC, "Tecnológico Fuerte" es una revista semestral, con revisión por pares, dirigida y arbitrada por el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Valles; editada y mantenida por Servicios Académicos Intercontinentales S.L. con el apoyo de Grupo EUMED.NET.

Todos los artículos publicados en esta revista son indexados en bases de datos científicas internacionales a través de los índices: **Latindex, IdeasRepec, Dialnet, Researchgate y Google Scholar.**

Público al que va dirigida

Esta revista está dirigida a todo tipo de público, principalmente a los interesados en los temas publicados: profesores, estudiantes, investigadores y lectores en general.

Política de acceso abierto

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de poner disponible gratuitamente toda la información posible.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

NORMAS PARA AUTORES

Es necesario como parte del proceso de envío de un artículo para su publicación en la revista Tectzapic, los autores deben verificar el cumplimiento de los elementos aquí solicitados ya que deben seguir las reglas descritas. En caso de no cumplir con las directrices les será devuelto el manuscrito a los autores.

Los artículos deberán cumplir con el requisito de originalidad, utilizar la plantilla adjunta, en formato de Microsoft Word, con el tipo de letra Times Roman 12 pts., espacio entre líneas de 1.0, texto con alineación justificada. La extensión debe ser de un mínimo de 10 a un máximo de 15 páginas.

El artículo debe tener los apartados de: Introducción, Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones y las Referencias.

Es necesario se envíen dos archivos, uno que no contenga ninguna referencia a las identidades de los autores; y otro con los datos que se solicitan en la plantilla del artículo.

Tiempo de respuesta máximo. Será de 90 días desde el cierre de la convocatoria de la recepción a la publicación.

Solicitar la plantilla para el artículo y carta de los autores al correo de oficinaeditorial@tecvalles.mx

1. Título. El título en español e inglés, en su redacción debe ser explícito y de forma concisa reflejar el contenido del trabajo.

2. Autoría. Nombre(s) completo(s) y apellidos completos de los autores, el organismo o centro de trabajo y correo electrónico del contacto de correspondencia. Es importante incluir el número de filiación ORCID. (En caso de no estar registrado lo puede hacer de forma gratuita en el siguiente enlace: https://orcid.org/register.

3. Resumen. En un párrafo de máximo 15 líneas (en español e inglés) se deberá plasmar la síntesis de la investigación, presentando el objetivo, la metodología utilizada, los resultados más importantes y las principales conclusiones. No debe contener resultados que no correspondan a la investigación.

4. Palabras clave. Presentar cinco conceptos separados por comas, estos términos deben ser relevantes del artículo y no aparecer en el título. Se recomienda emplear los tesauros Unesco.

5. Redacción del texto y presentación. Al redactar debe ser con un lenguaje claro, conciso y coherente. Los textos serán escritos en español.

6. Tablas y figuras. Se presentarán en el cuerpo del texto. después de mencionarla por primera vez. Estarán numeradas de acuerdo con su aparición y cada una llevará su título breve, claro y descriptivo, El título de la figura o tabla debe aparece una línea debajo del número. Utilice cursiva en el título. En caso de ser necesario alguna explicación deberá ir al pie como “nota”, así como con la indicación de la fuente correspondiente, en caso de que esta sea tomada de otro autor.

Todas las tablas y figuras se deben enviar también en formato JPEG, en un único archivo comprimido ZIP o RAR. Las fotografías y figuras tendrán una resolución mínima de 300 píxeles por pulgada para su publicación.

7. Fórmulas y/o expresiones matemáticas. Deberán insertarse en el propio Word o LibreOffice, pero en ningún caso irán incorporadas como imágenes.

8. Resultados y discusión. Descripción lógica, precisa de los resultados obtenidos. Se debe resumir los datos recolectados y el tratamiento estadístico que se les realizo. Cuando no se aplican análisis estadísticos o cuantitativos, los resultados pueden ser frases o afirmaciones que resuman la información de manera clara.

9. Conclusiones. En esta parte se derivan conclusiones, Se hacen recomendaciones para otras investigaciones, se analizan las implicaciones de la investigación y se establece cómo se respondieron las preguntas de investigación y si se cumplieron o no los objetivos.

9. Referencias. Desarrollará un listado de los materiales citados en el texto, estos son los que dan suporte a su artículo.

Las referencias siguientes deben ser en formato APA 7 https://normas-apa.org/ Todas las referencias citadas en el artículo deben estar con la información completa en la sección correspondiente de "REFERENCIAS", cuando esta sea un artículo que tenga DOI, deberá indicarse siempre.

Ejemplos de citas que aparecen en el cuerpo del texto

En caso de ser citas textuales solamente en caso de ser menos de 40 palabras se presenta incrustada en el texto entre comillas o si la cita tiene 40 palabras o más debe ser presentada en bloque, a parte del texto, y siempre al final anotar la página de la misma.

Ejemplo: Interpretando los resultados, Smith (2001) sugiere que la "aptitud para…" (p.421)

Las citas parafraseadas son cuando se presenta ideas o información de alguna investigación de un autor, pero en palabras propias del que redacta el artículo; esto permite resumir, sintetizar y comparar autores de referencia. Siempre se debe incluir el apellido del autor y el año de publicación. Al parafrasear no es obligatorio incluir el número de la página del autor citado.

Ejemplo:

El porcentaje de consumo de calorías en la década superó por en un 100 % a la anterior. (Ramírez, 2021).

Ejemplo:

Según Blanco (2019) la aprobación crediticia es indispensable (pp. 30–31).

Para citar un estándar, una norma técnica o una directriz de calidad en el Estilo APA, debes proporcionar el autor, la fecha, el título y la fuente del trabajo. Después del título, proporcione cualquier número o identificador para el estándar entre paréntesis sin cursiva.

Ejemplo: cita norma

(Organización que hizo el estándar, año).

Referencia

Organización que hizo el estándar. (año). Título de la norma (Norma núm. 1234). https://www.url.com

Citar corporaciones, instituciones o fundaciones como autores. Cuando la autoría es el nombre de un corporativo o asociación. Sólo se abrevia el nombre completo de la institución a un acrónimo apropiado, cuando la abreviatura sea bien conocida (una universidad famosa o una institución como la ONU, por ejemplo). En caso de ser un organismo poco conocido, deberá escribir el nombre completo en la primera cita e inserte la abreviatura entre paréntesis/corchetes

después del nombre completo. En las siguientes citas, puedes utilizar la abreviatura.

Ejemplo de citas:

(Asociación Americana para el Avance de la Ciencia [AAAC], 2014, p. 18)

Siguientes citas

(AAAC, 2014, p. 90)

Citas secundarias. Se refiere al contenido original presentado en otra publicación. Preferentemente utilizar la cita original, de no ser posible siga estas instrucciones cuando cite una fuente secundaria:

- En la lista de referencias, proporcione una entrada para la fuente secundaria que utilizó.
- En el texto, identifique la fuente primaria y escriba "como se citó en" y apunte la fuente secundaria.
- Si se conoce el año de publicación de la fuente primaria, inclúyalo también en la cita del texto.

Ejemplo: Se está parafraseando un trabajo de González (2020) en el que cita la investigación de Fuentes (1981), se cita el trabajo de González como la fuente original, seguido del trabajo de Fuentes. Solo el trabajo de González debe aparecer en la lista de referencias.

Cita en paréntesis

(Fuentes, 1981, como se citó en González, 2020)

Cita narrativa

Fuentes (1981, como se citó en González, 2020) presenta su descubrimiento de los beneficios de tomar agua…

Citas con más de un autor. Cuando se cita una fuente que tiene tres, cuatro o cinco autores, todos los autores se incluyen la primera vez que la fuente sea citada. Cuando esa fuente se cita de nuevo, se utiliza el apellido del primer autor y "et al".

Cada una de las citas deberá incluirse en el apartado correspondiente de REFERENCIAS, al final del artículo en extenso y sólo se incluirán las referencias que se hayan citado en el trabajo. Por lo tanto, no se integrarán otras complementarias, aunque se consideren de interés para el tema. Ejemplo: (Hernández et al., 2019).

ENVÍO DE ARTÍCULO

Deberá anexar en su envío los siguientes archivos.

- Dos versiones del texto del artículo (original y anonimizada).
- Declaración de autoría firmada.
- Tablas y figuras en un único fichero comprimido en formato ZIP o RAR

Los archivos complementarios deben cargarse como diferentes componentes del artículo.

Para los artículos autorizados y previo a su publicación

Se enviará al autor de correspondencia la prueba de su artículo para ser revisada en un plazo máximo de tres días. En las pruebas no se permitirán modificaciones adicionales a las observadas. Una vez se realice la publicación definitiva, se notificará de ello al autor de correspondencia.

TECTZAPIC®
Revista Académico-Científica

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Patogénesis de Enfermedades Bacterianas Asociadas con el Consumo de Productos Lácteos Caprinos Contaminados en México

Pathogenesis of Bacterial Diseases Associated with the Consumption of Contaminated Goat Dairy Products in Mexico

Recibido: 30 de mayo 2024
Aceptado: 19 de junio de 2024

Dulce María Martínez Ramírez
Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.
Sarahí del Carmen Rangel Ortega
Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
https://orcid.org/0000-0003-2201-107X
Raúl Rodríguez Herrera
Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila
https://orcid.org/0000-0002-6428-4925
Lizeth Guadalupe Campos-Muzquiz*
Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila
https://orcid.org/0000-0002-7507-0885
Autor de correspondencia: l_campos@uadec.edu.mx

RESUMEN

Los productos lácteos de origen caprino son ricos en nutrientes y desempeñan un papel importante en la cocina tradicional de México, además de ser un sustento esencial para los caprinocultores. Sin embargo, al elaborarse con leche sin pasteurizar, pueden representar un riesgo para la salud pública debido a la posible presencia de patógenos bacterianos. En México, los microorganismos más comúnmente encontrados en estos productos incluyen *Salmonella* spp*., Brucella spp., Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*. Estas bacterias pueden causar síntomas gastrointestinales, entre otras manifestaciones clínicas. Para implementar un tratamiento adecuado, es fundamental comprender la patogénesis de estas bacterias. En esta revisión, se aborda la patogénesis de estos patógenos y las manifestaciones clínicas más frecuentes asociadas con ellos. El objetivo principal es sintetizar los mecanismos de patogenicidad utilizados por los principales patógenos transmitidos en productos lácteos caprinos. El documento también discute la importancia de los productos lácteos de cabra y el origen de la presencia de patógenos en estos, junto con reportes de prevalencia de patógenos en quesos artesanales de México. En conclusión, comprender la patogénesis de estos patógenos es esencial para descifrar los mecanismos de infección y desarrollar estrategias efectivas de prevención y control.

Palabras clave: queso artesanal, enfermedades transmitidas por alimentos, factores de virulencia, toxina bacteriana, adhesión bacteriana.

Abstract

Goat dairy products are rich in nutrients and play an important role in traditional Mexican cuisine, as well as being an essential livelihood for goat farmers. However, when made with unpasteurized milk, they can pose a public health risk due to the potential presence of bacterial pathogens. In Mexico, the microorganisms most commonly found in these products include *Salmonella* spp., *Brucella* spp., *Escherichia col*i, *Listeria monocytogenes*, and *Staphylococcus aureus*. These bacteria can cause gastrointestinal symptoms, among other clinical manifestations. To implement appropriate treatment, it is crucial to understand the pathogenesis of these bacteria. This review addresses the pathogenesis of these pathogens, and the most common clinical manifestations associated with them. The main objective is to synthesize the pathogenicity mechanisms used by the major pathogens transmitted in goat dairy products. The document also discusses the importance of goat dairy products and the origin of pathogen presence in them, along with reports of pathogen prevalence in artisanal cheeses from Mexico. In conclusion, understanding the pathogenesis of these pathogens is essential for deciphering the mechanisms of infection and developing effective prevention and control strategies.

Keywords: artisanal cheese, foodborne diseases, virulence factors, bacterial toxin, bacterial adhesion.

INTRODUCCIÓN

El consumo de productos derivados de la leche de cabra ofrece múltiples beneficios para la salud humana. Su consumo se recomienda por encima de la leche de vaca debido a sus componentes nutritivos y propiedades saludables (ALKaisy et al., 2023; Rai et al., 2022). Por ejemplo, la leche caprina es de más fácil digestión ya que los glóbulos de grasa son más pequeños que los de la leche de vaca, favoreciendo el tratamiento de trastornos metabólicos, baja densidad mineral ósea y anemia (Zhang et al., 2020). No obstante, la calidad y el valor nutricional de la leche de cabra varían por diversos factores, como el manejo de la producción láctea, la alimentación del ganado caprino, su raza y la estación del año, entre otros aspectos (Scano & Caboni, 2022).

Los quesos se consideran artesanales cuando se producen a partir de leche bronca y no se utilizan cultivos iniciadores (Guillén et al., 2017). Los productores de quesos artesanales de cabra afirman que no pasteurizan la leche con la que elaboran sus quesos porque se perderían características organolépticas fundamentales. Estas propiedades confieren al queso su sabor y aroma distintivos, que son altamente valorados por los consumidores. Esta información ha sido confirmada en diversos estudios sensoriales, donde los quesos elaborados con leche bronca tienen mayor puntuación en sabor, textura y olor (Chambers et al., 2010; Mendia et al., 1999; Rezaei et al., 2020). Debido a esto, los productos derivados de leche bronca son susceptibles a microorganismos patógenos, los cuales han sido identificados como responsables de varias enfermedades transmitidas por alimento. Por lo tanto, el procesamiento de la leche es un paso esencial para asegurar su conservación y reducir tanto su deterioro como las enfermedades alimentarias en los consumidores (Cadavez et al., 2017). Los patógenos más comúnmente reportados en este tipo de queso (Tabla 1) incluyen *Escherichia coli, Salmonella* spp*., Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus,* y *Brucella* spp (Merchán-Castellanos et al., 2018).

Tabla 1

Reportes de la prevalencia de patógenos bacterianos presentes en quesos artesanales en México. Fuente: elaboración propia.

Bacteria	Producto	Prevalencia	Región	Referencias
Brucella sp.	Queso fresco de leche de cabra	12 %	Comarca lagunera.	(Romero et al., 2019)
	Queso artesanal con leche de cabra	32.03 %	Nuevo León	(Lazcano Villarreal, 2019)
	Queso artesanal con leche de vaca	21.60 %	Nuevo León	(Lazcano Villarreal, 2019)
Escherichia coli	Doble crema	10 %	Tabasco	(Guzman-Hernandez et al., 2016)
	Queso fresco	11 %	Tabasco	(Guzman-Hernandez et al., 2016)
	Panela	8 %	Tabasco	(Guzman-Hernandez et al., 2016)
	Queso de poro	82 %	Tabasco	(Pérez Pacheco, 2012)
	Adobera de leche de vaca	4 %	Jalisco	(Torres-Vitela et al., 2012)
	Panela de leche de vaca	16 %	Jalisco	(Torres-Vitela et al., 2012)

Listeria monocytogenes	Queso fresco de leche de vaca	2 %	Tabasco	(Guzmán-Hernández et al., 2016)
	Queso de poro	1 %	Tabasco	(Pérez Pacheco, 2012)
	Adobera de leche de vaca	12 %	Jalisco	(Torres-Vitela et al., 2012)
	Panela	6 %	Jalisco	(Torres-Vitela et al., 2012)
Salmonella enterica	Queso fresco de leche de vaca	4 %	Tabasco	(Guzmán-Hernández et al., 2016)
	Queso de poro	71 %	Tabasco	(Pérez Pacheco, 2012)
	Adobera de leche de vaca	20 %	Jalisco	(Torres-Vitela et al., 2012)
	Panela de leche de vaca	34 %	Jalisco	(Torres-Vitela et al., 2012)
Staphylococcus aureus	Queso fresco de leche de vaca	17 %	Tabasco	(Guzmán-Hernández et al., 2016)
	Queso de poro	64.7 %	Tabasco	(Pérez Pacheco, 2012)

Nota: la presente muestra las prevalencias de patógenos encontrados en quesos artesanales de México. Se utilizaron solo investigaciones donde se muestran los valores de prevalencia.

Estos patógenos son monitoreados a través del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE). El SINAVE recopila información de todo México y de las instituciones del Sistema Nacional de Salud (SNS), que fluye desde 20,005 unidades de atención hasta la Dirección General de Epidemiología (DGE). Esta información se integra en el Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE), que actualmente se enfoca en 114 enfermedades clave (Secretaría de Salud, 2020). A continuación, se presentan los casos reportados en el SUIVE de patógenos relevantes por su transmisión alimentaria, incluidos los asociados con el queso artesanal de cabra (Tabla 2).

Tabla 2

Casos Nacionales de Enfermedades Infecciosas Transmitidas por Alimentos: Semana 1 y Acumulados hasta la Semana 52 del 2023. Fuente: elaboración propia. Basada en información del Boletín Epidemiológico (Secretaría de Salud, 2024).

Enfermedades infecciosas	**Agente etiológico**	**Casos nacionales semana 1**	**Casos nacionales acumulados semana 52**
Fiebre tifoidea	*Salmonella enterica* serovariedad Typhi	165	14404
Fiebre paratifoidea	*Salmonella enterica* serovariedad Paratyphi	73	6462
Otras salmonelosis	*Salmonella enterica* serovariedades no tifoideas	608	45920
Brucelosis	*Brucella* sp.	8	1379
Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	Todas las infecciones intestinales excluyendo las causadas específicamente por rotavirus	48 789	3 201 789

Intoxicación alimentaria bacteriana	*S. aureus, B. cereus y C. perfringens*	412	23439

Estas bacterias cuentan con diversos factores de virulencia que les permiten causar enfermedades. Comprender la patogénesis de los patógenos transmitidos por alimentos es esencial para entender los mecanismos de la enfermedad, evaluar los riesgos asociados y mejorar las medidas de salud pública para combatir la contaminación bacteriana en los alimentos, lo que ayuda a reducir las enfermedades transmitidas por alimentos (Garcia & Haddad, 2022).

Este manuscrito ofrece una visión integral de la patogénesis de bacterias en productos lácteos de origen caprino, un aspecto crucial para la salud pública en México que ha sido subestimado en la literatura existente. A diferencia de estudios previos que se centran en aspectos aislados, este trabajo sintetiza los mecanismos de patogenicidad de los principales patógenos presentes en los productos lácteos caprinos, destacando no solo la relevancia nutricional y cultural de estos productos, sino también su papel en la transmisión de enfermedades. El objetivo de esta revisión es examinar la patogénesis de estos patógenos y las manifestaciones clínicas más comunes asociadas a ellos. Además, el documento analiza la importancia de los productos lácteos de cabra, el origen de la contaminación por patógenos y los informes sobre la prevalencia de estos en quesos artesanales de México.

DESARROLLO

Brucelosis

La brucelosis, también conocida como “Fiebre de Malta” o “Fiebre Ondulante” es una enfermedad causada por bacterias del género *Brucella* las cuales afectan a animales de varias especies, incluido el humano, el cual es un hospedador accidental (Pal et al., 2020). Las poblaciones vulnerables incluyen no solo a los caprino-cultores, veterinarios y trabajadores de mataderos, sino también el personal de laboratorio y los consumidores de productos lácteos no pasteurizados (Reséndiz et al., 2021). Estos microorganismos se distinguen por ser cocobacilos Gram negativos pequeños, inmóviles y aerobios, de crecimiento lento. La clasificación taxonómica reconoce 12 especies basándose en la preferencia de hospedadores, características fenotípicas y genotípicas, y comportamiento biológico (Suárez-Esquivel et al., 2020): *B. abortus* infecta bovinos*, B. melitensis* a ovejas y cabras, *B. suis* a cerdos, *B. ovis* a ovejas, *B. canis* a perros, *B. neotomae* y *B. microti* a roedores, *B. pinnipedalis* a pinnípedos, *B. ceti* a cetáceos y *B. inopinata* a humanos. En humanos, la infección es predominantemente causada por *B. melitensis*, *B. suis*, *B. abortus* y *B. canis* (Pal et al., 2020).

Patogénesis de Brucella.

Las rutas comunes de contagio de la brucelosis incluyen la vía respiratoria, que ocurre al inhalar aerosoles contaminados con la bacteria, y la vía gastrointestinal, mediante la ingestión de productos lácteos no pasteurizados y carne mal cocida. También puede transmitirse por contacto con fluidos de animales infectados y a través del contacto sexual. Otra posible ruta de contagio es la biológica, a través de mordeduras de garrapatas y otros artrópodos, aunque esta teoría todavía está en investigación (Ma et al., 2024). Una vez que la bacteria *Brucella* ingresa al organismo, invade las células epiteliales de la mucosa y es capaz de sobrevivir dentro de células fagocíticas y no fagocíticas. Sus principales objetivos son los macrófagos, las células

dendríticas y los trofoblastos. Gracias a su capacidad para sobrevivir dentro de estas células, *Brucella* puede diseminarse a otros tejidos, provocando infecciones en el tracto reproductivo y causando abortos (Pal et al., 2020). *Brucella* puede ingresar al cuerpo a través del tejido linfoide asociado a la mucosa (MALT) en la pared faríngea. Allí coloniza, prolifera y persiste durante largos períodos en los ganglios linfáticos. Si no es eliminada en la primera línea de defensa, la bacteria se escapa y se propaga libremente en el plasma, ya sea dentro de los eritrocitos o de las células fagocíticas, y puede alcanzar todos los órganos (Dubey et al., 2022).

Los macrófagos y las células dendríticas transportan a la bacteria a otros sitios del cuerpo o de regreso a través del epitelio reticular hacia la superficie de la mucosa. Después de la internalización mediada por balsas lipídicas y la proteína priónica (PrPc), *Brucella* se encuentra en una vacuola temprana. Esta vacuola interactúa secuencialmente con orgánulos celulares, como endosomas y lisosomas tempranos y tardíos, y adquiere transitoriamente diferentes marcadores (Rossetti, 2022). Esta bacteria previene la apoptosis de los fagocitos mononucleares infectados, lo que facilita su persistencia en el sistema reticuloendotelial hasta que el hospedador se vuelve susceptible a la colonización y replicación placentaria durante el embarazo. En este proceso, *Brucella* invade la placenta a través de los capilares maternos, ya que *B. melitensis* tiene una afinidad particular por el sistema reproductivo (Ma et al., 2020; Yang et al., 2024).

La infección *por B. melitensis* provoca abortos, nacimientos de crías débiles y, ocasionalmente, epidídimo-orquitis en cabras y ovejas. Esta es la especie de *Brucella* más virulenta para los humanos (Rossetti et al., 2022). En estos últimos, la brucelosis puede presentarse de manera aguda o insidiosa, con síntomas como fiebre, malestar general y sudores nocturnos. También puede causar pérdida de peso, dolor de articulaciones, cabeza, lumbar, fatiga, anorexia, mialgias, tos y cambios emocionales con tendencia a la depresión (Figura 1). Si no se trata, la enfermedad puede prolongarse por meses o incluso años (Freire et al., 2024).

Enfermedades diarreogénicas causadas por *E. coli*

Escherichia coli es un bacilo Gram negativo que se encuentra comúnmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente. Aunque la mayoría de las variantes *de E. coli* son inofensivas, algunas cepas, como las productoras de la toxina Shiga, pueden causar enfermedades graves a través de la ingestión de alimentos contaminados. La transmisión de esta bacteria al ser humano suele ocurrir principalmente mediante el consumo de carne molida cruda o mal cocida, leche no pasteurizada, y vegetales y semillas germinadas crudas que han sido contaminadas (Panel et al., 2020).

Dentro de *E. coli*, las cepas diarreogénicas constituyen un grupo heterogéneo que presenta diversos factores de virulencia y provoca distintos tipos de síndromes diarreicos (Figura 1) (Geurtsen et al., 2022). En México, se han identificado varios patotipos de *E. coli* en quesos artesanales, incluyendo *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC), *Escherichia coli* enteropatogénica (EPEC), *Escherichia coli* productora de toxina Shiga (STEC) y *Escherichia coli* enteroagregativa (EAEC) (Canizalez-Roman et al., 2013; de la Rosa-Hernández et al., 2018; Guzman-Hernandez et al., 2016).

Patogénesis de E. coli

***E. coli* enterotoxigénica (ETEC)**

ETEC se adhiere a la mucosa principalmente a través de factores de colonización (CFs)

presentes en la superficie de la bacteria. Estos CFs son fundamentales para que ETEC se fije al epitelio del intestino delgado. La mayoría de los CFs que expresa ETEC son fimbrias o polímeros proteicos filamentosos extracelulares relacionados, conocidos como pili o fimbrias. Estas estructuras facilitan la adherencia de ETEC a la superficie mucosa, permitiendo su colonización (von Mentzer & Svennerholm, 2023). Una vez que ETEC se adhiere a la mucosa intestinal, libera sus toxinas, las cuales inducen una diarrea acuosa similar a la causada por la toxina del cólera. Las toxinas producidas por ETEC incluyen la toxina termoestable (ST) y la toxina termolábil (LT). Estas toxinas provocan efectos patológicos en el hospedador al alterar la producción de nucleótidos cíclicos y la función de los transportadores de iones en el epitelio intestinal (Zhang et al., 2022).

La toxina ST induce un aumento en la producción de monofosfato de guanosina cíclico (cGMP) dentro de las células y una secreción dirigida de cGMP en las zonas apical y basolateral de las células intestinales. Por otro lado, la toxina LT afecta los niveles de monofosfato de adenosina cíclico (cAMP), contribuyendo a la alteración del transporte de iones y la secreción de agua en el intestino. Ambas toxinas son responsables de la disrupción del transporte de iones y la secreción de agua en las células intestinales (Fleckenstein & Sheikh, 2021).

E. coli enteropatógeno (EPEC)

Las cepas de EPEC se adhieren a la mucosa intestinal mediante dos mecanismos principales: la adherencia fimbrial, que utiliza flagelos y pili, y la adhesión afimbrial, que emplea proteínas de unión en la superficie como la intimina. Esta adherencia conduce a la formación de lesiones de tipo "adhesión y borramiento" en la mucosa. La formación de estas lesiones es facilitada por la secreción de proteínas virulentas, como EspF, EspG, EspH y Tir (Govindarajan et al., 2020).

La interacción entre la intimina y Tir permite una adhesión íntima de EPEC a la membrana de la célula del hospedador, lo que provoca alteraciones en la estructura de las microvellosidades del epitelio intestinal (Lee et al., 2022). Esta interacción y las alteraciones resultantes afectan la estructura de las uniones estrechas, comprometiendo la integridad de la barrera epitelial. En ratones infectados con EPEC, se han observado estos cambios en las uniones estrechas, que están relacionados con las respuestas inflamatorias inducidas por la infección. La disfunción de la barrera de las uniones estrechas en la mucosa del íleon y del colon altera la permeabilidad de la barrera intestinal, contribuyendo al desarrollo de diarrea y al daño intestinal asociado con EPEC (Ledwaba et al., 2020).

E. coli entero agregativa (EAEC)

Las cepas de EAEC se adhieren a la mucosa intestinal a través de mecanismos fimbriales y afimbriales, utilizando específicamente fimbrias de adhesión agregativa (AAF) y otras proteínas de superficie. La estructura fimbrial, conocida como fimbrias de adhesión agregativa (AAF), es fundamental para mediar la adherencia de EAEC a la mucosa, iniciando la formación de biofilm compuesto por exopolisacáridos (Govindarajan et al., 2020). Después de adherirse a la mucosa intestinal, EAEC secreta varias toxinas que refuerzan su virulencia. Estas incluyen una toxina codificada por plásmidos, una proteína que facilita la colonización intestinal, la enterotoxina extracelular de Shigella (ShET1), una toxina secretada autotransportadora y una toxina termoestable enteroagregativa, cada una codificada por genes específicos (*pet, pic, sigA, sepA, sat* y *astA*). La ShET1 induce secreción intestinal mediada por GMP cíclico (cGMP) y AMP cíclico (cAMP), contribuyendo a la patogénesis. La toxina SPATE Pet altera el citoesqueleto de actina e induce la entrada en las células hospedador, actuando como citotoxina y enterotoxina termoestable. Por otro lado, Sat afecta las uniones estrechas y facilita la autofagia

en las células epiteliales, lo que incrementa la patogenicidad de EAEC. Estas toxinas provocan cambios estructurales en el epitelio intestinal, como la ampliación de las aberturas de las criptas y la vesiculación de las microvellosidades, provocando diarrea (Pakbin et al., 2021).

E. coli productora de toxina Shiga (STEC)

STEC se adhiere a la mucosa principalmente mediante adhesinas, factores de virulencia cruciales para la colonización. La adhesión de STEC a la mucosa se facilita por el Locus de Adhesión y Autoagregación (LAA), una isla de patogenicidad asociada con enfermedades graves en humanos. El LAA en las cepas de STEC está vinculado a la presencia de genes de toxinas como *stx1a, stx2a, stx2d* y *cdtB*, que contribuyen a la patogenicidad de la bacteria. La capacidad de STEC para adherirse a la mucosa es un paso clave en el proceso de infección, permitiendo que las bacterias se establezcan en el hospedador y potencialmente causen enfermedades como la colitis hemorrágica y el síndrome urémico hemolítico (SUH) (Vélez et al., 2020). Las toxinas Shiga producidas por STEC son fundamentales en el desarrollo del síndrome urémico hemolítico (SUH). Estas toxinas inducen una serie de cambios trombogénicos e inflamatorios en las células endoteliales microvasculares, que finalmente conducen al SUH. La fisiopatología del SUH implica lesiones en las células endoteliales que provocan una microangiopatía trombótica (TMA), la cual resulta en anemia hemolítica mecánica, activación y agregación plaquetaria, trombocitopenia y fallo renal (Figura 1) (Bruyand et al., 2018).

Listeriosis

La listeriosis es una infección grave provocada por *Listeria monocytogenes*, una bacteria Gram positiva que actúa como patógeno intracelular y puede sobrevivir dentro de las células. La principal vía de transmisión de esta enfermedad es la ingestión de alimentos contaminados, lo que puede resultar en infecciones invasivas en los humanos. Generalmente, la enfermedad se presenta como bacteriemia, es decir, la presencia de bacterias en la sangre, y puede llevar a complicaciones graves para la salud (Koopmans et al., 2023). Además de los humanos, los rumiantes son considerados hospedadores naturales de *L. monocytogenes* debido a su alta susceptibilidad a esta bacteria. En estos animales, la infección puede manifestarse de diversas formas, incluyendo neurolisteriosis, que afecta el sistema nervioso central. *L. monocytogenes* está ampliamente distribuida en el entorno y puede pasar de ser un saprófito a un patógeno intracelular letal tras la ingestión. Por esta razón, tanto rumiantes, como humanos, son los hospedadores más frecuentes para infecciones invasivas causadas por esta bacteria (Bagatella et al., 2022). Este patógeno ha sido identificado en distintos tipos de quesos artesanales en México (Ibarra-Sánchez et al., 2017).

Patogénesis de _Listeria monocytogenes_.

La adhesión de *Listeria* en el intestino se facilita por la acumulación de la proteína de adhesión de Listeria (LAP) en la superficie de las cepas patógenas de *Listeria*. Esta proteína es esencial para la adhesión, la permeabilidad epitelial y la translocación bacteriana en el intestino. LAP se une a moléculas de superficie específicas de las cepas patógenas y es reforzada por la internalina B (InlB), que es crucial para la patogénesis y la diseminación sistémica, incluyendo la invasión cerebral. La adhesión de *Listeria* en el intestino implica interacciones mediadas por LAP con las células del hospedador, especialmente en el epitelio intestinal, lo que favorece la colonización bacteriana y su posible translocación a través de la barrera epitelial (Liu et al., 2023). Además de LAP, las internalinas InlA, InlB e InlF interactúan con receptores específicos en la superficie del hospedador. InlA e InlB son principalmente responsables de la entrada de

las bacterias en células epiteliales intestinales, hepatocitos y trofoblastos placentarios. InlA se une a la E-cadherina de los mamíferos, InlB interactúa con Met, e InlF se une a la vimentina, facilitando el proceso de internalización de *L. monocytogenes*. Una vez dentro, la bacteria escapa de los fagosomas gracias a la acción de listeriolysina O (LLO) y las fosfolipasas PlcA y PlcB, lo que le permite ingresar al citosol de las células (Ireton et al., 2021). Una vez en el citosol, *L. monocytogenes* puede sobrevivir y replicarse, provocando cambios en la morfología de los orgánulos celulares y alterando su función para favorecer la infección. LLO induce alteraciones drásticas en la morfología y función mitocondrial, beneficiando al patógeno mediante un mecanismo aún no completamente comprendido, resultando en mitocondrias más pequeñas y redondeadas (Radoshevich & Cossart, 2018).

Tras atravesar la barrera intestinal, *L. monocytogenes* se disemina a los ganglios linfáticos mesentéricos y luego se propaga a través del sistema linfático y sanguíneo hacia el hígado y el bazo. La bacteria también puede invadir el sistema nervioso central, la placenta y el feto. En los pacientes con infecciones neurológicas por listeria, los síntomas suelen aparecer de manera más lenta en comparación con aquellos con meningitis bacteriana causada por otros patógenos, como neumococos o meningococos. Aunque la listeriosis materna puede no presentar síntomas evidentes antes de los signos obstétricos, entre el 20 % y el 34 % de los casos se manifiestan con malestar general y síntomas como dolor abdominal, tos seca, fiebre, náuseas, vómitos, dolor de cabeza y dificultad para respirar (Figura 1) (Koopmans et al., 2023).

Infecciones por *Salmonella*

La salmonelosis es una enfermedad zoonótica provocada por la bacteria *Salmonella enterica*, que es un bacilo Gram negativo de la familia Enterobacteriaceae. Esta infección se transmite principalmente al ingerir alimentos contaminados, ya sean de origen animal o vegetal. Brotes de salmonelosis a menudo se han relacionado con el consumo de productos animales crudos, como carne, huevos y leche (Pal et al., 2024).

Salmonella Typhi es la bacteria responsable de la fiebre tifoidea en humanos, una enfermedad que causa una cantidad significativa de casos a nivel mundial. La fiebre tifoidea se caracteriza por síntomas como fiebre persistente, dolor abdominal, estreñimiento o diarrea, dolor de cabeza y, a veces, un rash rosado. Por otro lado, las *Salmonella* no tifoidea (NTS) incluyen diversos serotipos, como *Salmonella* Typhimurium, que es uno de los más comunes en el mundo y causa salmonelosis. Las infecciones por NTS suelen manifestarse como gastroenteritis, con síntomas como dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos, fiebre y dolor de cabeza, y generalmente duran menos de 10 días (Figura 1) (Schultz et al., 2021).

Patogénesis de la salmonelosis

Salmonella Typhimurium llega al intestino grueso tras la adquisición oral, donde entra en contacto con el epitelio intestinal. Este contacto activa el sistema de secreción tipo III (T3SS1) codificado en su isla de patogenicidad 1. El T3SS1 entrega proteínas efectores que inducen respuestas en las células del hospedador, llevando a la internalización bacteriana y a la formación de una vacuola que contiene *Salmonella* (SCV). Además, *Salmonella* Typhimurium expresa otro sistema de secreción tipo III, codificado en su isla de patogenicidad 2 (T3SS2), que ayuda al patógeno a evadir los mecanismos de defensa del sistema inmune innato y a replicarse dentro de las células del hospedador, dañando el enterocito para salir de este y provocando diarrea (Galán, 2021).

Patogénesis de Fiebre Tifoidea

Al igual que las salmonelas no tifoideas, *S.* Typhi ingresa al hospedador vía oral. Invade también a las células epiteliales del intestino, pero a diferencia de las salmonelas no tifoidales, sobrevive dentro de los macrófagos, siendo transportada a otros tejidos por medio de estas células (Dougan & Baker, 2014). Para sobrevivir a las defensas del hospedador, *S.* Typhi aumenta la expresión de proteínas protectoras contra el peróxido de hidrógeno, expresa la cápsula Vi y protege su lipopolisacárido (LPS) del reconocimiento por el receptor tipo Toll 4 (TLR-4) para prevenir la transcripción de la iNOS. Al disminuir la expresión de flagelina, *S.* Typhi evita la piroptosis de las células del hospedador, lo que ayuda a evitar la inflamación y la captura por parte de los neutrófilos, diseminándose por todo el cuerpo (Barton et al., 2021) .

Salmonella Typhi forma biopelículas en los cálculos biliares de colesterol, un proceso que depende de la superficie y de la bilis. Esta formación de biopelículas resulta en un estado de portador. Los cálculos biliares son uno de los factores de riesgo más críticos para desarrollar este estado de portador. Una vez establecido, la biopelícula es difícil de tratar. La mayoría de las infecciones por biopelículas son persistentes, ya que los microorganismos que residen en ellas pueden resistir al sistema inmunológico, a los antibióticos y a varios tratamientos (Dasgupta et al., 2022).

Intoxicación alimentaria por estafilococos

Staphylococcus aureus es un coco Gram positivo capaz de producir diversos factores de virulencia, siendo las enterotoxinas estafilocócicas (SEs) una de las principales causas de intoxicación alimentaria por estafilococos (SFP) cuando se consume comida contaminada. La producción de enterotoxinas por parte de *S. aureus* está influenciada por varios factores, incluidos las condiciones ambientales y las características de la matriz alimentaria. Factores como la temperatura de almacenamiento, el pH, la concentración de azúcar o sal, y la presencia de microorganismos competitivos pueden afectar el crecimiento de *S. aureus* y la producción de SEs (Grispoldi et al., 2021).

La intoxicación alimentaria por estafilococos presenta síntomas que aparecen rápidamente (entre 30 minutos y 8 horas después del consumo) e incluyen náuseas, vómitos intensos, calambres abdominales, con o sin diarrea (Figura 1). En casos de pérdida significativa de líquidos, el examen físico puede mostrar signos de deshidratación e hipotensión. Aunque la intoxicación alimentaria por estafilococos generalmente se autolimita y se resuelve en 24-48 horas después del inicio, puede causar infecciones potencialmente mortales en niños, ancianos y personas inmunocomprometidas (Pal, 2022).

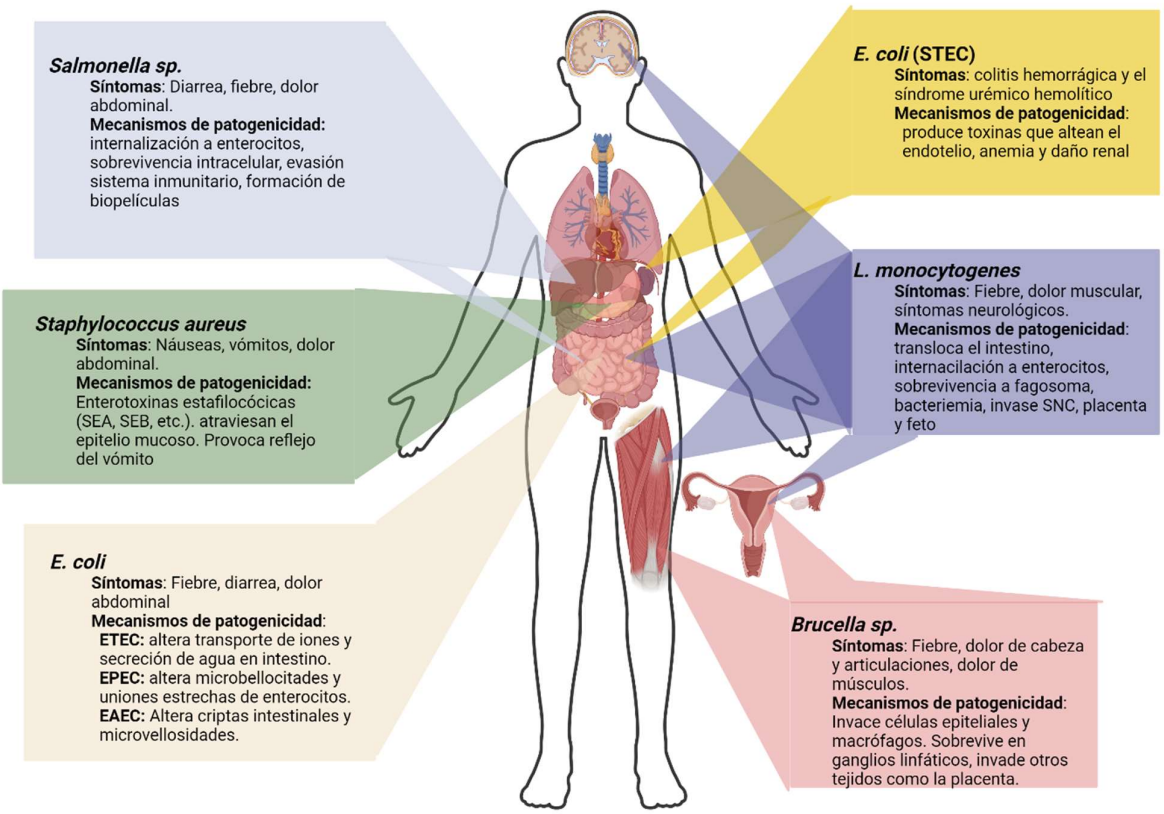
S. aureus puede llegar a los alimentos por contaminación cruzada, y su crecimiento en la matriz alimentaria puede dar lugar a la producción de enterotoxinas estafilocócicas (SEs) termoestables. El consumo de alimentos que contienen estas toxinas preformadas está asociado con la intoxicación alimentaria por estafilococos. Se han descrito diferentes tipos de SEs, pero la mayoría de los brotes de origen alimentario se atribuyen a las enterotoxinas clásicas: SEA, SEB, SEC, SED y SEE (Emiliano et al., 2024).

La enterotoxina estafilocócica A (SEA) atraviesa el epitelio mucoso en el lumen gastrointestinal por un mecanismo desconocido y luego se acumula en la submucosa. En el estómago y duodeno, SEA se une a las células mastocitos submucosas o directamente a las

células neuronales. La unión de la enterotoxina estafilocócica A (SEA) a los receptores en los mastocitos submucosos desencadena la liberación de serotonina (5-HT). Esta serotonina liberada se une a los receptores 5-HT3 en los nervios entéricos, lo que provoca su despolarización. La despolarización de los nervios aferentes vagales estimula los centros eméticos en el tronco encefálico, iniciando el reflejo de vómito (Hu & Nakane, 2014).

Figura 1.

Síntomas y mecanismos de patogenicidad principales de bacterias patógenas transmitidas por alimentos. Fuente: elaboración propia.



CONCLUSIÓN

Esta revisión ha detallado los mecanismos de patogenicidad de las principales bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos. Sin embargo, aún existen numerosos aspectos de estos mecanismos que requieren una mayor investigación. En México, la seguridad alimentaria enfrenta retos importantes debido a la alta prevalencia de patógenos bacterianos en productos lácteos, especialmente en quesos artesanales elaborados con leche no pasteurizada. Patógenos como *Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Salmonella spp*., y *Staphylococcus aureus* son comúnmente encontrados en estos productos y representan un riesgo significativo para la salud pública. Estas bacterias poseen diversos factores de virulencia que facilitan su capacidad para causar enfermedades y contribuyen a la aparición de brotes alimentarios. Comprender la patogénesis de estos patógenos es esencial para descifrar los mecanismos de

infección y desarrollar estrategias efectivas de prevención y control. La investigación continua de los factores de virulencia y las manifestaciones clínicas asociadas a estas infecciones es crucial para una evaluación precisa de los riesgos y la implementación de medidas de salud pública más eficaces.

REFERENCIAS

ALKaisy, Q. H., Al-Saadi, J. S., AL-Rikabi, A. K. J., Altemimi, A. B., Hesarinejad, M. A., & Abedelmaksoud, T. G. (2023). Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. *Food Science & Nutrition*, *11*(10), 5641–5656. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.3531

Bagatella, S., Tavares-Gomes, L., & Oevermann, A. (2022). *Listeria monocytogenes* at the interface between ruminants and humans: A comparative pathology and pathogenesis review. In *Veterinary Pathology* (Vol. 59, Issue 2, pp. 186–210). SAGE Publications Inc. https://doi.org/10.1177/03009858211052659

Barton, A. J., Hill, J., Blohmke, C. J., & Pollard, A. J. (2021). Host restriction, pathogenesis and chronic carriage of typhoidal *Salmonella*. In *FEMS Microbiology Reviews* (Vol. 45, Issue 5). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/femsre/fuab014

Bruyand, M., Mariani-Kurkdjian, P., Gouali, M., de Valk, H., King, L. A., Le Hello, S., Bonacorsi, S., & Loirat, C. (2018). Hemolytic uremic syndrome due to Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infection. *Médecine et Maladies Infectieuses*, *48*(3), 167–174. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.medmal.2017.09.012

Cadavez, V. A. P., Rodrigues, V., & Gonzales-Barron, U. A. (2017). Microbiological Safety of Goat Milk and Cheese: Evidences from a Meta-Analysis. In J. Simões & C. Gutiérrez (Eds.), *Sustainable Goat Production in Adverse Environments: Volume I: Welfare, Health and Breeding* (pp. 379–390). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71855-2_21

Canizalez-Roman, A., Gonzalez-Nuñez, E., Vidal, J. E., Flores-Villaseñor, H., & León-Sicairos, N. (2013). Prevalence and antibiotic resistance profiles of diarrheagenic *Escherichia coli* strains isolated from food items in northwestern Mexico. *International Journal of Food Microbiology*, *164*(1), 36–45. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.03.020

Chambers, D. H., Esteve, E., & Retiveau, A. (2010). Effect of milk pasteurization on flavor properties of seven commercially available French cheese types. *Journal of Sensory Studies*, *25*(4), 494–511. https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2010.00282.x

Dasgupta, S., Chaudhuri, K. R., Nayak, S., & Biotechnology, S. N. (2022). A Comprehensive Review on the Development of *Salmonella* Biofilm on Gallbladder Surface. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, *7*(6). https://doi.org/10.5281/zenodo.6767146

de la Rosa-Hernández, M. C., Cadena-Ramírez, A., Téllez-Jurado, A., Gómez-Aldapa, C. A., Rangel-Vargas, E., Chávez-Urbiola, E. A., & Castro-Rosas, J. (2018). Presence of Multidrug-Resistant Shiga Toxin–Producing Escherichia coli, Enteropathogenic *Escherichia coli,* and Enterotoxigenic *Escherichia coli* on Fresh Cheeses from Local Retail Markets in Mexico. *Journal of Food Protection*, *81*(11), 1748–1754. https://doi.org/https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-166

Dougan, G., & Baker, S. (2014). *Salmonella enterica* serovar Typhi and the pathogenesis of typhoid fever. In *Annual Review of Microbiology* (Vol. 68, pp. 317–336). Annual Reviews Inc. https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091313-103739

Dubey, S., Brahmbhatt, M. N., Nayak, J. B., Thakur, S., & Mistry, U. (2022). Brucellosis and Its Public Health Significance in India: A Review. *LSD Virus*.

Emiliano, J. V. dos S., Fusieger, A., Camargo, A. C., Rodrigues, F. F. da C., Nero, L. A., Perrone, Í. T., & Carvalho, A. F. de. (2024). *Staphylococcus aureus* in Dairy Industry: Enterotoxin Production, Biofilm Formation, and Use of Lactic Acid Bacteria for Its Biocontrol. *Foodborne Pathogens and Disease*. https://doi.org/10.1089/fpd.2023.0170

Fleckenstein, J. M., & Sheikh, A. (2021). Emerging Themes in the Molecular Pathogenesis of Enterotoxigenic *Escherichia coli*. *The Journal of Infectious Diseases*, *224* (Supplement_7), S813–S820. https://doi.org/10.1093/infdis/jiab359

Freire, M. L., de Assis, T. S. M., Silva, S. N., & Cota, G. (2024). Diagnosis of human brucellosis: Systematic review and meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, *18*(3). https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012030

Galán, J. E. (2021). *Salmonella* Typhimurium and inflammation: a pathogen-centric affair. *Nature Reviews Microbiology*, *19*(11), 716–725. https://doi.org/10.1038/s41579-021-00561-4

Garcia, M. A., & Haddad, N. (2022). Pathogenic Mechanisms of Bacterial Foodborne Pathogens. In *Microbiological Risk Assessment Associated with the Food Processing and Distribution Chain* (pp. 97–140). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119986980.ch4

Geurtsen, J., de Been, M., Weerdenburg, E., Zomer, A., McNally, A., & Poolman, J. (2022). Genomics and pathotypes of the many faces of *Escherichia coli*. *FEMS Microbiology Reviews*, *46*(6), fuac031. https://doi.org/10.1093/femsre/fuac031

Govindarajan, D. K., Viswalingam, N., Meganathan, Y., & Kandaswamy, K. (2020). Adherence patterns of *Escherichia coli* in the intestine and its role in pathogenesis. *Medicine in Microecology*, *5*, 100025. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.medmic.2020.100025

Grispoldi, L., Karama, M., Armani, A., Hadjicharalambous, C., & Cenci-Goga, B. T. (2021). *Staphylococcus aureus* enterotoxin in food of animal origin and staphylococcal food poisoning risk assessment from farm to table. In *Italian Journal of Animal Science* (Vol. 20, Issue 1, pp. 677–690). Taylor and Francis Ltd. https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1871428

Guillén, B. L. N., Centeno, F. H., Vázquez, D. G. M., Hernández, M. A. C., Verastegui, M. I. M. F., & Ortega, S. del C. R. (2017). Selección de bacterias ácido lácticas del queso artesanal de leche de cabra de Coahuila para su uso como cultivos iniciadores. *Investigación y Ciencia: De La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, *72*, 45–52. https://doi.org/10.33064/iycuaa201772221

Guzman-Hernandez, R., Contreras-Rodriguez, A., Hernandez-Velez, R., Perez-Martinez, I., Lopez-Merino, A., Zaidi, M. B., & Estrada-Garcia, T. (2016). Mexican unpasteurised fresh cheeses are contaminated with *Salmonella* spp., non-O157 Shiga toxin producing Escherichia coli and potential uropathogenic *E. coli* strains: A public health risk. *International Journal of Food Microbiology*, *237*, 10–16. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.018

Guzmán-Hernández, R. L., Hernández-Velez, R. M., Morales-Estrada, A. I., Fernández-Rendón, E., López-Merino, A., & Contreras-Rodríguez, A. (2016). Aislamiento e identificación de *Brucella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* en quesos frescos no pasteurizados de una zona tropical del golfo de México. *Revista Científica*, *26*(5), 324–331.

Hu, D.-L., & Nakane, A. (2014). Mechanisms of staphylococcal enterotoxin-induced emesis. *European Journal of Pharmacology*, *722*, 95–107. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2013.08.050

Ibarra-Sánchez, L. A., Van Tassell, M. L., & Miller, M. J. (2017). Invited review: Hispanic-style cheeses and their association with *Listeria monocytogenes*. *Journal of Dairy Science*, *100*(4), 2421–2432. https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2016-12116

Ireton, K., Mortuza, R., Gyanwali, G. C., Gianfelice, A., & Hussain, M. (2021). Role of internalin proteins in the pathogenesis of *Listeria monocytogenes*. In *Molecular Microbiology* (Vol. 116, Issue 6, pp. 1407–1419). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1111/mmi.14836

Koopmans, M. M., Brouwer, M. C., Vázquez-Boland, J. A., & van de Beek, D. (2023). Human

listeriosis. *Clinical Microbiology Reviews*, *36*(1), e00060-19. https://doi.org/10.1128/cmr.00060-19

Lazcano Villarreal, J. L. (2019). *Frecuencias de detección de Brucella spp en quesos frescos de vaca y cabra elaborados artesanalmente mediante la reacción en cadena de la polimerasa punto final y su relación con la prevalencia en humanos en el estado de Nuevo León, México*. [Tesis de doctorado, Universitat Autònoma de Barcelona] Repositorio institucional- Tesis Doctorals en Xarxa. http://hdl.handle.net/10803/666685

Ledwaba, S. E., Costa, D. V. S., Bolick, D. T., Giallourou, N., Medeiros, P. H. Q. S., Swann, J. R., Traore, A. N., Potgieter, N., Nataro, J. P., & Guerrant, R. L. (2020). Enteropathogenic *Escherichia coli* Infection Induces Diarrhea, Intestinal Damage, Metabolic Alterations, and Increased Intestinal Permeability in a Murine Model. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.595266

Lee, J. B., Kim, S. K., & Yoon, J. W. (2022). Pathophysiology of enteropathogenic *Escherichia coli* during a host infection. In *Journal of Veterinary Science* (Vol. 23). Korean Society of Veterinary Science. https://doi.org/10.4142/JVS.21160

Liu, D., Bai, X., Helmick, H. D. B., Samaddar, M., Amalaradjou, M. A. R., Li, X., Tenguria, S., Gallina, N. L. F., Xu, L., Drolia, R., Aryal, U. K., Moreira, G. M. S. G., Hust, M., Seleem, M. N., Kokini, J. L., Ostafe, R., Cox, A., & Bhunia, A. K. (2023). Cell-surface anchoring of Listeria adhesion protein on *L. monocytogenes* is fastened by internalin B for pathogenesis. *Cell Reports*, *42*(5). https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.112515

Ma, R., Li, C., Gao, A., Jiang, N., Feng, X., Li, J., & Hu, W. (2024). Evidence-practice gap analysis in the role of tick in brucellosis transmission: a scoping review. In *Infectious Diseases of Poverty* (Vol. 13, Issue 1). BioMed Central Ltd. https://doi.org/10.1186/s40249-023-01170-4

Ma, Z., Li, R., Hu, R., Deng, X., Xu, Y., Zheng, W., Yi, J., Wang, Y., & Chen, C. (2020). *Brucella abortus* BspJ Is a Nucleomodulin That Inhibits Macrophage Apoptosis and Promotes Intracellular Survival of *Brucella*. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.599205

Mendia, C., Jbarez, F. C., Torre, P., & Barcina, Y. (1999). Effect of pasteurization on the sensory characteristics of a ewe's-milk cheese. *Journal of Sensory Studies*, *14*, 415–424. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1999.tb00125.x

Merchán-Castellanos, N., Pineda-Gómez, L., Cárdenas- Parra, A., González-Neiza, N., Otálora-Rodríguez, M., & Sánchez-Neira, Y. (2018). Microorganismos comúnmente reportados como causantes de enfermedades transmitidas por el queso fresco en las Américas, 2007-2016. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *56*.

Pakbin, B., Brück, W. M., & Rossen, J. W. A. (2021). Virulence factors of enteric pathogenic *Escherichia coli*: A review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 18). MDPI. https://doi.org/10.3390/ijms22189922

Pal, M. (2022). *Staphylococcus aureus*: A Major Pathogen of Food Poisoning. *Nutrition and Food Processing*, *5*(1), 01–03. https://doi.org/10.31579/2637-8914/074

Pal, M., Gutama, K. P., Botton, S. de A., Singh, S., & Parmar, B. C. (2024). Zoonotic Salmonellosis: A Comprehensive Review. *Indian Journal of Veterinary Public Health*, *10*(1), 31–38. https://doi.org/10.62418/ijvph.10.1.2024.31-38

Pal, M., Kerorsa, G. B., Desalegn, C., & Kandi, V. (2020). Human and Animal Brucellosis: A Comprehensive Review of Biology, Pathogenesis, Epidemiology, Risk Factors, Clinical Signs, Laboratory Diagnosis, Public Health Significance, Economic Importance, Prevention and Control. *American Journal of Infectious Diseases and Microbiology*, *8*(4), 118–126. https://doi.org/10.12691/ajidm-8-4-1

Panel, E. B., Koutsoumanis, K., Allende, A., Alvarez-Ordóñez, A., Bover-Cid, S., Chemaly, M., Davies, R., De Cesare, A., Herman, L., Hilbert, F., Lindqvist, R., Nauta, M., Peixe, L., Ru, G.,

Simmons, M., Skandamis, P., Suffredini, E., Jenkins, C., Monteiro Pires, S., … Bolton, D. (2020). Pathogenicity assessment of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and the public health risk posed by contamination of food with STEC. *EFSA Journal*, *18*(1), e05967. https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5967

Pérez Pacheco, F. (2012). *Caracterización de parámetros físico-químicos y calidad microbiológica del queso de poro del municipio de Balancán, Tabasco, México*.

Radoshevich, L., & Cossart, P. (2018). *Listeria monocytogenes*: Towards a complete picture of its physiology and pathogenesis. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 16, Issue 1, pp. 32–46). Nature Publishing Group. https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.126

Rai, D. C., Rathaur, A., Yadav, A. K., & Shraddha, Ms. (2022). Nutritional and nutraceutical properties of goat milk for human health: A review. *Indian Journal of Dairy Science*, 1–10. https://doi.org/10.33785/ijds.2022.v75i01.001

Reséndiz, G. P., Romero, F. A., Pérez, C. F., Núñez, L. G., Hernández, J. G., López, E. H., González, M. L., Álvarez, F. M., López, F. P., & Aparicio, E. D. (2021). Enfermedades infecciosas de relevancia en la producción caprina, historia, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *12*, 205–223. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5801

Rezaei, A., Alirezalu, K., Damirchi, S. A., Hesari, J., Papademas, P., Domínguez, R., Lorenzo, J. M., & Yaghoubi, M. (2020). Effect of pasteurization and ripening temperature on chemical and sensory characteristics of traditional motal cheese. *Fermentation*, *6*(4). https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6040095

Romero, A. M., Sánchez, J. L. O., Flores, M. C., Estrada, N. U., González, S. I. H., & Romero, J. de J. A. (2019). Contaminación por *Brucella* sp. e incumplimiento en medidas de saneamiento básico en la producción de lácteos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, *37*(4), 128–132.

Rossetti, C. A., Maurizio, E., & Rossi, U. A. (2022). Comparative Review of Brucellosis in Small Domestic Ruminants. In *Frontiers in Veterinary Science* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.887671

Scano, P., & Caboni, P. (2022). Seasonal Variations of Milk Composition of Sarda and Saanen Dairy Goats. *Dairy*, *3*(3), 528–540. https://doi.org/10.3390/dairy3030038

Schultz, B. M., Melo-Gonzalez, F., Salazar, G. A., Porto, B. N., Riedel, C. A., Kalergis, A. M., & Bueno, S. M. (2021). New Insights on the Early Interaction Between Typhoid and Non-typhoid *Salmonella* Serovars and the Host Cells. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.647044

Secretaría de Salud. (15 de enero de 2020). Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-vigilancia-epidemiologica

Secretaría de Salud. (09 de enero de 2024). Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Sistema Único de Información 2023. https://www.gob.mx/salud/documentos/boletinepidemiologico-sistema-nacional-de-vigilancia-epidemiologica-sistema-unico-de-informacion-261547

Suárez-Esquivel, M., Chaves-Olarte, E., Moreno, E., & Guzmán-Verri, C. (2020). *Brucella* genomics: Macro and micro evolution. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 20, pp. 1–23). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/ijms21207749

Torres-Vitela, M. R., Mendoza-Bernardo, M., Castro-Rosas, J., Gomez-Aldapa, C. A., Garay-Martinez, L. E., Navarro-Hidalgo, V., & Villarruel-López, A. (2012). Incidence of *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, and Staphylococcal Enterotoxin in Two Types of Mexican Fresh Cheeses. *Journal of Food Protection*, *75*(1), 79–84. https://doi.org/https://doi.org/10.4315/0362-028x_jfp-11-258

Vélez, M. V., Colello, R., Etcheverría, A. I., Vidal, R. M., Montero, D. A., Acuña, P., Guillén Fretes, R. M., Toro, M., & Padola, N. L. (2020). Distribution of Locus of Adhesion and

Autoaggregation and hes Gene in STEC Strains from Countries of Latin America. *Current Microbiology*, *77*(9), 2111–2117. https://doi.org/10.1007/s00284-020-02062-8

von Mentzer, A., & Svennerholm, A.-M. (2023). Colonization factors of human and animal-specific enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC). *Trends in Microbiology*, *32(5)*, 448-464. https://doi.org/10.1016/j.tim.2023.11.001

Yang, J., Wang, Y., Hou, Y., Sun, M., Xia, T., & Wu, X. (2024). Evasion of host defense by *Brucella*. *Cell Insight*, *3*(1), 100143. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cellin.2023.100143

Zhang, Y., Tan, P., Zhao, Y., & Ma, X. (2022). Enterotoxigenic *Escherichia coli*: intestinal pathogenesis mechanisms and colonization resistance by gut microbiota. *Gut Microbes*, *14*(1), 2055943. https://doi.org/10.1080/19490976.2022.2055943

Zhang, Y., Zheng, Z., Liu, C., & Liu, Y. (2020). Lipid Profiling and Microstructure Characteristics of Goat Milk Fat from Different Stages of Lactation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(27), 7204–7213. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02234

TECTZAPIC®
Revista Académico-Científica

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Incremento en las competencias digitales y oportunidades de desarrollo para los estudiantes que obtienen la certificación en Diseño Mecánico (CSWA)

Increase in digital skills and development opportunities for students who obtain certification in Mechanical Design (CSWA)

Recibido: 30 de mayo 2024
Aceptado: 19 de junio de 2024

Obed Antonio García Cano
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM
obedgarciac@itdurango.edu.mx
Alberto Ramírez Márquez
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM
Carlos Omar Ríos Orozco
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM
Francisco Alberto Barrena Rodríguez
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM

RESUMEN

El desarrollo de competencias en diseño mecánico es indispensable para los egresados de ingeniería mecánica y mecatrónica debido a que es un campo de trabajo altamente requerido por las empresas del ramo. Sin embargo, en la actualidad, en el mercado laboral, el destacar en estas competencias entre otros candidatos suele ser un desafío. Si estas competencias están basadas en un *software* de Diseño Asistido por Computadora (CAD), particularmente SolidWorks, les permitiría a los estudiantes conseguir un proyecto de residencia profesional, un empleo y, posteriormente, con altas probabilidades de ascender en su empleo (Solidworks, 2024). Por lo tanto, en el departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Durango se implementó un módulo de especialidad denominado Diseño y Manufactura Asistida por Computadora basándose en las temáticas de las diferentes certificaciones ofertadas por SolidWorks. Esto con el fin de que los estudiantes puedan obtener certificaciones y con ello ser parte de los 380,000 usuarios certificados en el mundo. En la presente investigación se muestra la implementación de los conceptos necesarios para obtener la Certification Associate Mechanical Design (CSWA) en diseño mecánico. Lo que permitió que la primera generación de alumnos certificados que se incorporaron a residencia profesional tuviera proyectos de calidad y en su mayoría relacionados al diseño mecánico.

Palabras clave: piezas, diseño mecánico, SolidWorks, especialidad, competencias.

Abstract

The development of skills in mechanical design is essential for mechanical engineering and mechatronics graduates, because it is a field of work highly required by companies in the field. However, in today's job market, standing out in these skills among other candidates is often a challenge. If these skills are based by Computer Aided Design (CAD) *software*, particularly SolidWorks, it would allow them the opportunity to obtain a professional residency project, a job and later with a high probability of promotion in their current job (Solidworks,2024). Therefore, in the Metal Mechanics department of the Durango Technological Institute, a specialty module called Computer Aided Design and Manufacturing was implemented, based on the themes of the different certifications offered by SolidWorks. This is so that students can obtain certifications in SolidWorks and thus be part of the 380,000 certified users in the world. This research shows the implementation of the concepts necessary to obtain the CSWA certification in mechanical design. This allowed the first generation of certified students who joined professional residency to have quality projects, mostly related to mechanical design.

Keywords: parts, mechanical desing, SolidWorks, specialty, competencies.

INTRODUCCIÓN

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) es la institución de educación superior tecnológica más grande de Latinoamérica y su misión es "formar profesionales competitivos de la ciencia y la tecnología" (TecNM, 2021). Por lo que las instituciones que pertenecen al TecNM deben comprometerse a desarrollar las competencias y habilidades que permitan a sus egresados insertarse de manera exitosa al campo laboral (Razón et al., 2019).

En la presente investigación se analizan dos carreras que se ofertan a nivel nacional, el de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica. La primera, menciona que el profesionista "aplica herramientas matemáticas, computacionales y métodos experimentales en la solución de problemas para formular modelos, analizar procesos y elaborar prototipos mecánicos" (TecNM, 2010). Mientras que el perfil de egreso de la segunda indica que el egresado: "Diseña, simula, construye e innova productos, procesos, equipos y sistemas mecatrónicos, para impactar positivamente en su entorno con una actitud investigadora, de acuerdo con las necesidades tecnológicas, sociales actuales y emergentes" (TecNM, 2010). Por lo que ambos perfiles de egreso plantean la necesidad de brindar herramientas propias del campo del diseño de productos a través de herramientas computacionales.

En el Instituto Tecnológico de Durango, que forma parte del TecNM y de los 264 campus distribuidos a lo largo de todo el país (TecNM,2010), se encuentra el departamento de Metal Mecánica que oferta las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica. En los que se buscan desarrollar las competencias que implican el uso de herramientas computacionales para la formulación de prototipos y el diseño de productos de acuerdo con las necesidades tecnológicas actuales. Y es que, aunque al parecer pudieran ser dos áreas distintas: las herramientas computacionales y el diseño de producto; la realidad es que hoy no existen áreas que no se entrelacen para el desarrollo de nuevas habilidades y competencias. El diseño en ingeniería ha cambiado de forma significativa con el andar de los años (García, 2004) y hoy no se concibe el modelado de piezas mecánicas sin la utilización de *software* CAD.

El desarrollo de la ingeniería implica la actualización de metodologías para la impartición y la utilización de elementos industriales involucrando los avances en el campo de la computación (Morales, 2021). Esto ha permitido que los estudiantes se puedan desarrollar en el campo industrial sin la necesidad de estar dentro de las fábricas. Entre las competencias básicas que deben desarrollar se encuentran conceptos básicos de dibujo industrial hasta el modelado de piezas y ensambles en *software* 3D. El uso de estas metodologías permite la validación de los componentes previo a su fabricación, incluso analizar los métodos de ensamblaje más recomendables. Además, se logra evitar largos tiempos en producción, pero sobre todo se alcanza la incorporación de estándares adecuados y de clase mundial (Vélez, 2022).

Teniendo en cuenta la alta competencia que se tiene en el campo del diseño industrial, es importante que las escuelas de ingeniería no sólo busquen que sus egresados tengan los conocimientos básicos en diseño mecánico asistido por computadora, sino que, además, se busca que los egresados cuenten con certificaciones en dicho campo (Zabala, 2022). Si, además, se añade que las certificaciones sean de índole internacional y vitalicias, estas acciones fortalecen las competencias de los egresados (Solidworks, 2024). Por lo que debe ser una preocupación de los docentes que imparten clase en la especialidad del Departamento de Metal-Mecánica en el Instituto Tecnológico de Durango, el generar contenidos significativos y generar las condiciones para obtener las competencias en el campo del diseño asistido por computadora.

Por lo que se debe hacer un esfuerzo especial para realizar los cambios en la retícula potenciando el uso de las TIC para el alcance de las competencias profesionales (García, 2022). Es por ello qué, para el fortalecimiento de los programas de las Ingenierías Mecánica y Mecatrónica, se diseñó un módulo de especialidad que comprende las siguientes asignaturas: Diseño asistido por computadora, Manufactura asistida por computadora, Ingeniería asistida por computadora, Manufactura aditiva y Procesos especiales de fabricación. Siendo la materia de Diseño asistido por computadora la primera asignatura del módulo y con la que se pretende que los alumnos puedan obtener la certificación CSWA de SolidWorks.

La presente investigación se realiza con el objetivo de conocer el impacto que tiene la asignatura de Diseño Asistido por Computadora, cuyo enfoque es preparar a los alumnos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica para obtener la certificación en diseño mecánico CSWA, en la obtención de proyectos de residencia profesional enfocada a diseño mecánico. Esto debido a que los programas de Diseño y Manufactura Asistido por computadora (CAD/CAM) son las herramientas más usadas en ingeniería para modelar y optimizar productos previos a su fabricación (Ayala, 2020). Además, de que uno de los principales problemas presentado por los alumnos egresados de ambas carreras es que no contaban con una evidencia o certificación proporcionada por un organismo externo como la empresa Dassault Systemes, que avalará la competencia mencionada. Dicha empresa establece un estándar para el sector industrial que mediante un examen valida las áreas de diseño mecánico. Y es que, si la escuela forma las destrezas necesarias para realizar determinado trabajo, el empresario puede ahorrar recursos valiosos para formar y capacitar a los egresados (Steedman, 1994). Así los responsables de la contratación pueden confiar en su decisión de contratar a candidatos que obtengan dicho certificado, con lo que se acorta la brecha en la adquisición de conocimientos necesarios para el contratado.

Dentro de las limitantes del presente estudio es que se realiza con los alumnos que cursaron la clase de Diseño Asistido por Computadora perteneciente a la especialidad de Diseño y Manufactura Asistidas por Computadora y que se les brindó la oportunidad de presentar el examen de certificación CSWA. El presente estudio abarca 26 estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica que cumplen con las características antes mencionadas, además que se involucran a docentes certificados, que son necesarios para preparar a los estudiantes en las exigencias del campo laboral. Por lo que es indispensable establecer programas que aborden las necesidades antes expresadas.

METODOLOGÍA

En las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica debe diseñarse una especialidad de acuerdo con el entorno y las necesidades detectadas en la institución (TecNM, 2015). Por lo que en el Departamento de Metal Mecánica se incorporó la especialidad de Diseño y Manufactura Asistida por Computadora, la cual fue autorizada en diciembre de 2022 por el Tecnológico Nacional de México. Entre las 5 asignaturas propuestas, se abordará la primera de las materias para el presente análisis. Se pretende demostrar la hipótesis qué, durante el desarrollo de una asignatura, es posible lograr las competencias necesarias para adquirir la certificación básica en diseño mecánico otorgada por Dassault Systemes y acceder a proyectos más enfocados al área de especialización.

Selección de grupo de estudio

Para la implementación de la propuesta se eligió al grupo 8S del semestre agosto-diciembre de

2023 en que se inscribieron un total de 31 estudiantes, 9 mujeres y 22 hombres de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica. De los cuales 5 estudiantes hombres ya contaban con el certificado CSWA, por lo que el estudio se enfocó en 9 mujeres y 17 hombres, que aún no contaban con la certificación básica de diseño.

Selección de docentes para impartir la asignatura

Para alcanzar la meta deseada era indispensable seleccionar a docentes capacitados para impartir la asignatura, se consideró que los docentes certificados en diseño profesional en SolidWorks se encarguen de impartir la asignatura y enfocarla directamente en la preparación para la certificación CSWA. El departamento cuenta con varios docentes certificados en asociado y seis de ellos están certificados de manera profesional. Por lo que se optó por seleccionar a un docente certificado en CSWP.

Diseño de la asignatura de Diseño Asistido por Computadora

Desde su concepción se indicó que el propósito de cada asignatura es alcanzar la competencia necesaria para que el estudiante pueda lograr la certificación en alguno de los diversos módulos que ofrece Dassault Systemes. Y la primera de las asignaturas es Diseño Asistido por Computadora, en la cual se plantearon cuatro temas a desarrollar: Croquizado en 2D, operaciones en croquis, ensambles y configuraciones del diseño.

Para el primer tema se planteó la necesidad de que los estudiantes desarrollaran de manera práctica las entidades básicas de croquis: líneas, rectángulos, círculos, ángulos y elipses. Se añadieron algunas herramientas para una mejor comprensión, entre las que destacan: equidistancia, recorte y extensión de líneas. Se expusieron modelos de piezas básicas que pudieran ser generadas en uno o dos croquis. Además de mostrar operaciones sencillas como extrusión, para realizar el modelado en 3D. Esta operación básica permite convertir el croquizado 2D en un objeto 3D, en la cual siempre se agrega material al croquis básico.

En el segundo tema se explicaron las operaciones básicas de extrusión de corte, revolución saliente y corte de revolución. En la operación corte se logra eliminar el material que contiene el objeto 3D. En las operaciones de revolución se agrega o elimina material a través de un perfil o línea, creando una superficie laminar o sólida, según sea el caso. Además de abordarse operaciones para eliminar los filos en las piezas, utilizando chaflanes y redondeos. Por último y para la evaluación de las piezas se indicó que se debería seleccionar el material para la pieza y posteriormente calcular las propiedades físicas.

Para el apartado tres, se abordó el tema de los ensambles. Donde en la realización de estos ensambles se explicó como generar piezas en origen de ensamble, luego se abordó la creación de relaciones de posición básicas tales como concéntrica, coincidente, paralelo, ángulo y distancia. Se midieron centros de masa y se calcularon distancias y ángulos entre elementos, para verificar que el diseño fuera el adecuado. En el tema final se abordaron temas y herramientas más avanzadas para el diseño de piezas, como la generación de variables globales, así como hacer configuraciones en el gestor de diseño y finalizar con tablas de diseño.

Desarrollo del curso abarcando las áreas del examen de certificación

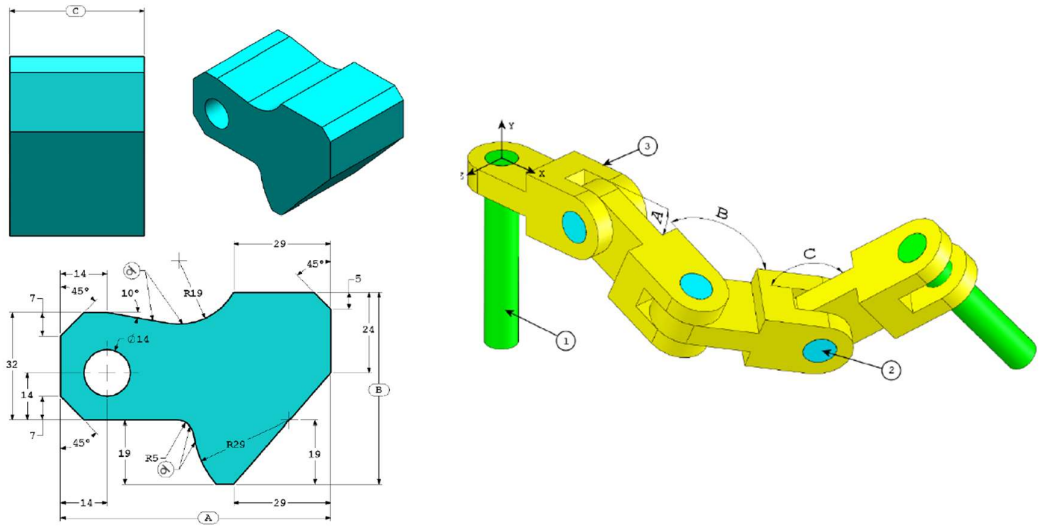
Se desarrollaron 40 piezas que debieron ser diseñadas en SolidWorks y la forma de verificar su realización correcta era mediante la verificación de la masa obtenida a través del *software*. La duración de la preparación fue de 45 horas para los primeros dos temas. El método seguido fue la presentación de una pieza con todas sus dimensiones acotadas incluyendo el sistema de

medidas utilizado y el material requerido. A continuación, cada estudiante comenzaba a desarrollar la pieza 3D mostrada en el pizarrón. Tratando de que cada estudiante recibiera la orientación adecuada para el desarrollo de su propia competencia. Al término de las dos primeras unidades se les aplicó el examen de prueba que proporciona el sitio *web* oficial de Dassault Systemes. Enseguida, se desarrollaron 18 ensambles en SolidWorks y la forma de verificar que se realizaran correctamente fue a través de la obtención del centro de masa del ensamble o la distancia solicitada. La duración de la preparación fue de 20 horas para la realización de estos ensambles. El método seguido era similar a la etapa de desarrollo de piezas, sólo que en algunas ocasiones se suministraban las piezas y se proyectaba una imagen que contenía el ensamble que se debía desarrollar. Se incluía el tipo de relación a realizar y las cotas pertinentes al modelo. De igual manera, se brindaba atención personalizada para aclarar las dudas en cada asiento del estudiante diseñador.

Al término de la tercera unidad se les aplicó el examen de prueba que proporciona el sitio *web* oficial de Dassault Systemes. En el que se requería que los estudiantes desarrollaran una pieza en 3D considerando las cotas del modelo, el sistema de unidades, las variables globales y el material propuesto. Para la etapa de ensamble, se suministraron 3 piezas y la imagen del modelo para que se desarrollara el ensamble en el *software*. Cabe destacar que para ambas actividades se contaba con un tiempo límite en el que se debía terminar y alcanzar la puntuación aprobatoria. De esta manera, se identificaría si el estudiante era o no capaz de realizar el examen de certificación y aprobarlo adecuadamente. En la figura 1 se muestra el examen desarrollado por los estudiantes.

Figura 1

Pieza y ensamble de preparación para examen de certificación CSWA



Nota: En la presente figura se observa la pieza y el ensamble básico de 3 piezas utilizado en el examen de prueba de Solidworks

Fuente: https://www.solidworks.com/es/certifications/mechanical-design-cswa-mechanical-design

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Como tema adicional se explicaron las competencias de dibujo, como corte de sección, entre otros, la cual es un área de evaluación en la certificación. Durante la asignatura se desarrollaron piezas y ensambles obteniendo las siguientes métricas, contabilizando la actividad de los estudiantes.

Tabla 1

Cantidad de material desarrollado por los alumnos

Estudiantes	Cantidad	Piezas desarrolladas en promedio	Ensambles realizados en promedio
Mujeres	9	10	12
Hombres	17	15	14
Promedio ponderado por estudiante		**14**	**12**

Nota. La presente muestra los promedios de piezas elaboradas y ensambles desarrolladas por alumno dentro del estudio.

Al término del primer grupo de análisis se encuestó a los 26 alumnos para obtener el resultado del impacto de los conocimientos adquiridos durante la asignatura y su relación con su posterior empleo laboral. De todos los alumnos que asistieron a la asignatura, el 100% contestó que las herramientas obtenidas en la clase de Diseño asistido por computadora potenciaron sus capacidades como ingeniero(a) mecánico(a) o mecatrónico(a) (ver gráfica de la figura 2).

Figura 2

Herramientas adquiridas en la asignatura de Diseño Asistido por Computadora

Nota: En la presente gráfica se observa la respuesta a la pregunta sobre el incremento de capacidades como ingenieros
Fuente: Propia

Al término de la asignatura la mayoría de los estudiantes procedieron a desarrollar su estancia profesional en el sector industrial, por lo que se les encuestó sobre las herramientas adquiridas y su impacto en el sector industrial a través de la residencia profesional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras realizarse el estudio se obtuvieron los siguientes resultados. De los 26 estudiantes que participaron en el estudio sólo 17 obtuvieron su certificado y accedieron a residencia profesional. En el caso de los alumnos que no presentaron la certificación se debió a diversos factores, entre los que destacan, no sentirse preparados al no haber asistido constantemente a sus clases, el no verlo como una necesidad inmediata y el costo que tenía el examen. Aunque, no con ello indica qué, no tengan el dominio de herramientas para desarrollar los proyectos de diseño asistido por computadora, dado que los 9 que no presentaron el examen de certificación obtuvieron una calificación aprobatoria en la asignatura. Desafortunadamente no cuentan con una evidencia física o certificado proporcionado por un ente internacional que avale sus conocimientos.

De los 17 alumnos residentes que obtuvieron el certificado, 14 de ellos realizaron proyectos que requirieron la utilización de SolidWorks en alguna parte del desarrollo, de los cuales el 50 % de los proyectos asignados fueron directamente realizados con el *software* Solidworks y desarrollados en el área de diseño mecánico o afines. A continuación, se muestra la lista de los 7 proyectos realizados por los estudiantes directamente en el área de diseño mecánico:

- Diseño de horno para carbón vegetal utilizando material residual de aserradero
- Diseño de dispositivo modular para *cobot* de corte de plasma
- Rediseño de sistema de enfriamiento de aceite de lubricación para turbina de gas
- Estampadora electroneumática para placas de datos
- Diseño y fabricación de dispositivo automático de soldadura laser
- Cálculo y diseño de ventilador centrifugo para planta de asfalto
- Diseño e instalación de sistema de riego ahorrador de agua

Todos estos proyectos fueron desarrollados en el primer semestre del año de 2024, y que sin duda el estudiante requirió la utilización del *software* con las suficientes habilidades para generar un producto terminado al menos en el plano del diseño industrial. Los diez proyectos restantes fueron distribuidos en áreas como mantenimiento, eléctrica/electrónica y otras. Obteniéndose la siguiente tabla en distribución de proyectos.

Tabla 2

Proyectos desarrollados en residencia profesional por los estudiantes que cursaron la asignatura de Diseño Asistido por Computadora

Proyectos	Cantidad	Uso de SolidWorks en el área de realización del proyecto
Diseño Mecánico	7	7
Mantenimiento	2	2
Eléctrica /Electrónica	3	3
Otros	5	2
Proyectos realizados por alumnos certificados	**17**	**14**

Nota. Un total de 14 de 17 de los estudiantes utilizaron SolidWorks como herramienta básica.

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Destacando que se han incrementado la cantidad de proyectos del área de diseño que las empresas solicitan sean realizados por los residentes de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, aunque este tema está fuera del alcance de esta investigación, se podría determinar el índice de crecimiento. Lo anterior sin duda es consecuencia de que los alumnos demuestren las competencias idóneas para desarrollar estos proyectos en el área de diseño.

Considerando que las empresas duranguenses deben competir en los mercados actuales, cada vez más empresas consideran una ventaja competitiva el desarrollar sus propios mecanismos o maquinaria para obtener ventajas sobre el resto de sus competidores. Por lo que el diseño industrial empieza a manifestarse como una excelente táctica de gestión estratégica y por ello comienzan a desarrollar maquinaria que satisfaga sus propias necesidades (Martínez, et al., 2005).

Además, de los estudiantes encuestados, el 84 % (ver figura 3) declararon que haber obtenido la certificación CSWA marcó una diferencia a la hora de solicitar su residencia profesional. Por lo que ahora, ellos mismos valoran la necesidad de una certificación internacional, e incluso, algunos tuvieron la posibilidad de elegir el proyecto enfocado a su área de interés en el diseño mecánico, lo anterior representa una ventaja para los residentes, dado de que en lugar de que se les asigne un proyecto de áreas afines a su formación académica, ellos pueden seleccionar el proyecto en función de sus intereses, competencias y habilidades.

Figura 3

Impacto en la obtención de proyecto de residencia profesional

Nota: En la gráfica se observa la respuesta al impacto de la certificación en los proyectos de residencia profesional
Fuente: Propia

Además, el 96 % de los encuestados indicó que al lograr la certificación CSWA, sentaron las bases para una mejor expectativa con respecto al futuro de obtener empleo, ya sea en la misma empresa o en otra de su área de aplicación.

En los resultados mostrados en la figura 4, refleja el convencimiento de que el adquirir la

evaluación de su habilidad será de mayor importancia en el futuro. Incluidos los que no adquirieron la certificación consideran importante obtener esa herramienta, por un lado, debido a que ahora están ya incorporados a la vida laboral o porque ahora que van a solicitar la residencia ven necesario incrementar su currículum.

Figura 4

Potencial para adquirir mejores oportunidades laborales

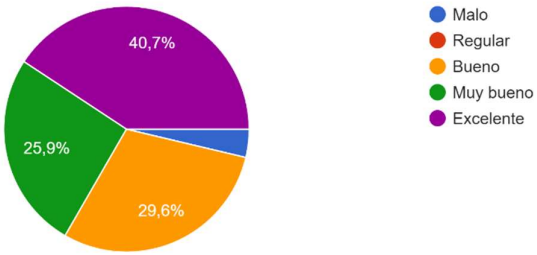
Nota: En la gráfica se observa la respuesta a la pregunta sobre la posibilidad de obtener un mejor empleo
Fuente: Propia

Por lo que se ve que es importante seguir brindando capacitaciones enfocadas a la certificación en diseño mecánico avalada por organizaciones externas e internacionales.

Y lo que resulta más relevante es que tras haber realiza su proyecto se les pregunto, cual consideran el impacto en el desarrollo de habilidades adquiridas al cursar la asignatura y posteriormente haber obtenido la certificación, obteniéndose las respuestas que vemos en la figura 5.

Figura 5

Impacto de la certificación en sus habilidades en Diseño Mecánico



Fuente: Propia

Es claramente observable que 96.2 % de los estudiantes encuestados consideran que el haber

cursado la asignatura, presentar el examen de certificación y acreditarlo, tuvo un buen impacto en su desarrollo profesional.

Por lo que queda demostrado la hipótesis de que al cursar una asignatura cuyo objetivo fundamental sea el adquirir habilidades y competencias propias en el uso del software SolidWorks, se puede no solo alcanzar las competencias necesarias para acreditar un examen de certificación. Sino que también es posible, encontrar mejores oportunidades de proyectos, particularmente enfocados hacia el área del diseño mecánica.

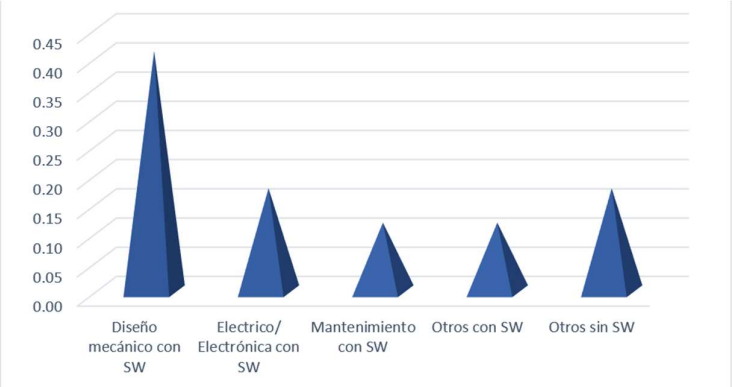
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Al analizar el tipo de proyectos y las necesidades del campo laboral, se observó que es necesario que los alumnos obtengan destrezas en el campo del Diseño Mecánico Asistido por Computadora y potencializar sus habilidades con la obtención de la certificación básica y otras certificaciones. Esto hará que, al realizar la residencia profesional, los estudiantes tengan mayor probabilidad de elegir el proyecto a desarrollar de acuerdo con sus intereses, competencias y habilidades.

Para este estudio en lo particular, se observa que de los estudiantes certificados tienen altas posibilidades de desarrollar su proyecto en áreas en las que ellos estén más preparados. Se observa que 7 estudiantes, es decir, e1 41 % de los proyectos estuvieron en el área de diseño mecánico usando el *software* SolidWorks. Otros 7 estudiantes más, es decir, otro 41%, desarrollaron proyectos en otras áreas tales como: mantenimiento, eléctrica, electrónica y otras, pero utilizando regularmente el *software* para desarrollar las actividades propias del proyecto. Por lo que, en total, el 82 % de los proyectos estuvieron ligados al uso de SolidWorks, cómo se observa en la siguiente grafica.

Figura 6

Gráfica de áreas de aplicación de los proyectos realizados por estudiantes certificados



Fuente: Propia

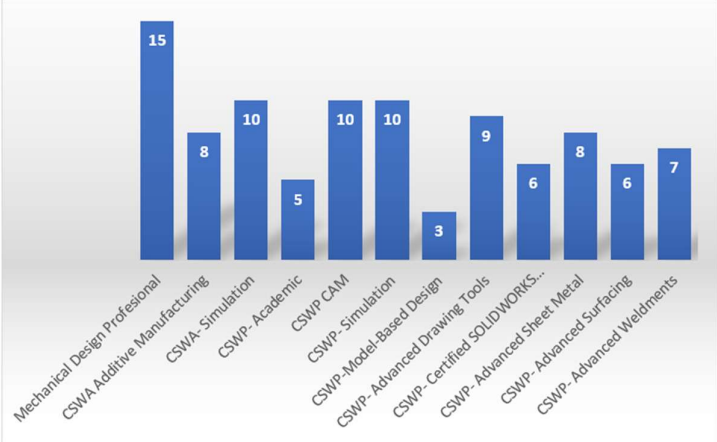
Y basado en las respuestas de los estudiantes, la certificación les permitió tener las habilidades pertinentes para el desarrollo y culminación de los proyectos. Esto también, deja claro que la institución debe seguir invirtiendo en la adquisición de licencias estudiantiles para usar de manera legal y con la posibilidad de certificar estudiantes con el *software* SolidWorks. Esta

herramienta permite seguir capacitando a los estudiantes y en el futuro tener la posibilidad de que todos los egresados del módulo de especialidad adquieran la certificación básica en diseño.

En este mismo análisis, se pude observar la necesidad de abrir el abanico de posibilidades en certificaciones externas. Este *software* en lo particular ofrece 12 certificaciones posteriores a la básica, algunas de las cuales se pueden ofertar en las asignaturas de la especialidad. Al encuestar a los alumnos sobre la posibilidad de obtener otra certificación que ellos vean necesaria para su desarrollo profesional, se obtuvieron las respuestas mostradas en la figura 7.

Figura 7

Certificaciones deseadas por los estudiantes



Nota: En la gráfica se observa las certificaciones que desean obtener los estudiantes posteriores a la certificación CSWA.
Fuente: Propia

Por lo que ahora es necesario preparar la certificación CSWP, la cual involucra tres segmentos para obtener la certificación: pieza, ensamble y configuraciones de diseño. Lo cual se pretende pueda realizarse bajo el mismo esquema de la certificación básica, teniendo en cuenta que, con la certificación profesional, requiere una habilidad mayor para brindar respuestas a las interrogantes en las tres áreas a evaluar. Además, de que las otras asignaturas de la especialidad ya se encuentran desarrollando material para ofertar las certificaciones correspondientes. En el caso de la asignatura de Manufactura Asistida por Computadora, se centrará en la preparación para la certificación en CAM, la clase de Ingeniería Asistida por Computadora ya se encuentra preparando estudiantes para la certificación en Análisis de Elemento Finito tanto en su opción básica como a nivel profesional, en la básica ya se cuenta con 13 alumnos certificados. En la materia de Manufactura Aditiva ya se han logrado certificar algunos estudiantes, mientras que la asignatura de Procesos Especiales de Fabricación tiene el potencial de ofrecer hasta cuatro certificaciones: Chapa, Molde, Soldadura y Superficies. Por lo que es factible que con este esfuerzo se logre que los estudiantes que cursen la especialidad puedan obtener varias certificaciones y con ello adquirir herramientas adicionales para un mejor desempeño laboral.

REFERENCIAS

Áyala, A., Arturo, O. S., Isaías, R. B. E., García, O., & Aidán, A. (2020). Nueva estrategia para la enseñanza de CAD/CAM. *Departamento de Ingeniería de Diseño y*

Manufactura, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Cd. Mx, CP, *4510*.

García, C. J. (2022). Caracterización del uso de *software* de diseño 3D en la ETITC. Letras ConCiencia TecnoLógica. 19(1.)

García, J. I. (2004). *Fundamentos del diseño mecánico*. Universidad del Valle.

https://www.solidworks.com/es/certifications/mechanical-design-cswa-mechanical-design extraído 20 de junio de 2024.

Martínez, E., Gutiérrez, T. M., & Carrasco, I. B. (2005). Importancia del diseño industrial en la gestión estratégica de la empresa. *Universia Business Review*, (8), 52-67.

Morales, L. R. (2021). Diseño industrial. *Diseño y Sociedad*, (50-51), 54-59.

Razón, J. Ortega, F. y Lozano, A. (2019). Impacto de la gestión de certificaciones internacionales en la inserción laboral de los ingenieros electromecánicos. Revista ANFEI Digital. https/anfei.mx/revista/index.php/article/viem/495

Steedman, H. (1994). Evaluación, certificación y reconocimiento de las destrezas y competencias profesionales. *Revista europea de formación profesional*, (1), 38-45.

Tecnológico Nacional del México [TecNM] (2015. *Normateca de la Dirección de Docencia e Innovación Educativa – Tecnológico Nacional de México*. Obtenido de https://www.tecnm.mx/normateca/Direcci%C3%B3n%20de%20Docencia%20e%20Innovaci%C3%B3n%20Educativa/Manual%20Lineamientos%20TecNM%202015/Manual_de_Lineamientos_TecNM.pdf

Vélez, J. (2022). Metodologías de diseño y herramientas computacionales. *Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto (PLM)*, 57.

Zabala Castillo, L. A. (2022). ceer Volumen 1 (jun).

TECTZAPIC®
Revista Académico-Científica

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Evaluación de extractos de residuos de naranja y limón para el control de *Tenebrio molitor*

Evaluation of orange and lemon residue extracts for the control of *Tenebrio molitor*

Recibido: 30 de mayo 2024
Aceptado: 19 de junio de 2024

Pedro Aguilar-Zárate
Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
https://orcid.org/0000-0002-7983-9022
Mariela Ramona Michel Michel
Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
https://orcid.org/0000-0002-1750-2467
Autor de correspondencia: mariela.michel@tecvalles.mx
Daniel Perales Rosas
Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
https://orcid.org/0000-0003-4257-3993
Mairel Valle de la Paz
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero.
https://orcid.org/0000-0002-5411-1481

RESUMEN

La agroindustria de cítricos genera grandes cantidades de residuos que, en su mayoría, no son aprovechados, representando un problema ambiental. Sin embargo, estos residuos contienen compuestos bioactivos que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo el control de plagas. El uso de extractos de residuos cítricos no sólo promueve una economía circular al reutilizar desechos agroindustriales, sino que también puede reducir la dependencia de insecticidas químicos, que suelen tener efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. Diversos estudios han demostrado que los cítricos contienen flavonoides, aceites esenciales y otros compuestos con propiedades insecticidas, lo que los convierte en una alternativa prometedora. En la región de la Huasteca Potosina, se cosecha la naranja (*Citrus sinensis*) y el limón (*Citrus limon*), por ello se aprovecharon los residuos de estos cítricos para desarrollar un insecticida. El estudio mostró que las concentraciones del 100 % y 50 % de estos extractos fueron las más efectivas. Particularmente, los extractos de limón redujeron la población del insecto a la mitad en sólo dos días. Estos compuestos interfieren en el ciclo de vida de *Tenebrio molitor*, disminuyendo su tasa de reproducción y aumentando su mortalidad. Este trabajo pretende desarrollar un insecticida de bajo costo, aprovechando los residuos agroindustriales, añadiendo valor a estos desechos y ofreciendo una solución más sostenible y menos tóxica en comparación con los pesticidas químicos.

Palabras clave: Economía circular, residuos de cítricos, compuestos bioactivos, control de plagas, insecticida natural.

Abstract

The citrus agroindustry generates large amounts of waste, most of which is not used, representing an environmental problem. However, this waste contains bioactive compounds that can be used in various applications, including pest control. Using citrus waste extracts not only promotes a circular economy by reusing agro-industrial waste. Still, it can also reduce dependence on chemical insecticides, which often have adverse effects on human health and the environment. Various studies have shown that citrus fruits contain flavonoids, essential oils, and other compounds with insecticidal properties, making them a promising alternative. In the Huasteca Potosina region, orange (*Citrus sinensis*) and lemon (*Citrus limon*) are harvested, so the waste from these citrus fruits was used to develop an insecticide. The study showed that concentrations of 100 % and 50 % of these extracts were the most effective. Specifically, lemon extracts reduced the insect population by half in just two days. These compounds interfere with the life cycle of *Tenebrio molitor*, decreasing its reproduction rate and increasing its mortality. This work aims to develop a low-cost insecticide, taking advantage of agro-industrial waste, adding value to this waste, and offering a more sustainable and less toxic solution compared to chemical pesticides.

Keywords: Circular economy, citrus waste, bioactive compounds, pest control, natural insecticide.

INTRODUCCIÓN

La valorización de los residuos agroalimentarios en productos de valor añadido puede minimizar su generación y reducir la contaminación ambiental. En la actualidad el consumo de frutas, verduras y productos de valor añadido aumentó con el crecimiento económico de varios países, así como la generación de residuos como cáscaras, semillas y gabazo en grandes cantidades en las ciudades, lo que genera graves problemas ambientales (Visakh, et al., 2022).

La agroindustria de cítricos es muy importante ya que son de las familias de frutas que más se cultivan en el mundo. Estas frutas se utilizan en un mayor porcentaje para la obtención de jugos. La cáscara de cítricos es el principal residuo. Sin embargo, también es una fuente de melaza, pectina y limoneno que algunas veces se le da un proceso de secado y se vende como alimento para el ganado, mezclada con harina seca (Chen et al., 2012).

Los cítricos más consumidos son limero (*Citrus aurantifolia*), mandarino (*Citrus reticulata*), lima (*Citrus limetta*) y limón (*Citrus limon*). Generan grandes cantidades de residuos de estos frutos que no son aprovechados adecuadamente. Sin embargo, estos residuos contienen compuestos bioactivos que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo el control de plagas. La gestión eficiente de estos residuos no sólo mitigaría el impacto ambiental, sino que también proporcionaría una fuente sostenible de productos naturales con potencial insecticida (Suri et al., 2022).

El uso de extractos de residuos cítricos no sólo promueve una economía circular al reutilizar desechos agroindustriales (Cano-Lamadrid, M., et al., 2021) sino que también puede reducir la dependencia de insecticidas químicos sintéticos, que suelen tener efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. La economía circular, es una estrategia de gran relevancia para reducir el daño ambiental y promover el desarrollo sustentable al utilizar y aprovechar al máximo los recursos (Córdova et al., 2021).

Anteriormente se utilizaba el modelo económico lineal el cual consistente en tomar, después hacer, y por último tirar, donde no hay un aprovechamiento de los residuos. Para este modelo lineal utilizan formas económicas para deshacerse de lo que ya no interesa y por lo tanto ha rebasado los límites físicos. Tal modelo no es sostenible (Steffen et al., 2015), ha generado problemas ambientales como la contaminación y uso excesivo de la tierra y campos, agua, aire, la pérdida de biodiversidad entre otros factores que causan el deterioro de la tierra, todo esto ha rebasado la capacidad del planeta (Esposito et al., 2018). Por ello en diversos países han cambiado al modelo de economía circular, el cual representa una gran estrategia para el crecimiento y cuidado de su población.

Las estrategias de revalorización de residuos en las distintas fases del proceso productivo y la logística, y/o el uso de residuos (subproductos) como materia prima de partida para la elaboración de productos de mayor valor añadido con gran potencial de aplicación en la industria (Gullón & Yáñez, 2022); pueden suponer un cambio en el modelo productivo del sector y evolucionar hacia una economía circular más diversificada y sostenible.

Diversos estudios han demostrado que los cítricos contienen flavonoides, aceites esenciales (Maqbool et al., 2023), terpenoides (Visakh et al., 2022) con propiedades insecticidas, lo que los convierte en una alternativa prometedora. En la región de la Huasteca Potosina se cosecha

la naranja (*Citrus sinensis*) y el limón (*Citrus limon*) debido a las condiciones climatológicas.

Naranja y sus propiedades

La naranja es una de las frutas de mayor producción e industrialización a nivel mundial, pero generándose también un subproducto significativo como su cáscara. En la perspectiva de un aprovechamiento integral se debe valorizar a este subproducto mediante la extracción (Farag et al., 2020). La cáscara de naranja contiene varios compuestos bioactivos con aplicaciones industriales y beneficios para la salud. Estos compuestos incluyen aceites esenciales, flavonoides, carotenoides, ácidos fenólicos, pectinas, fibra dietética y vitaminas (Topuz et al., 2005). Los compuestos bioactivos de la cáscara de naranja tienen diversas aplicaciones.

Limón y sus propiedades

El limón es una de las principales exportaciones de México y es la tercera especie de cítricos más importante del mundo, por detrás del naranjo y el mandarino. México es el segundo productor a nivel mundial, y además fue el primer lugar en 2022 en exportación de limas y limones (Castillo- González et al., 2024). Esta fruta, consumida en forma de zumo, se caracteriza por la gran cantidad de nutrientes beneficiosos para la salud. De la cáscara del limón se extraen aceites esenciales los cuales son compuestos concentrados volátiles naturales de origen orgánico extraídos de los residuos del limón los cuales tienen la función de proteger al fruto el cual también contienen diferentes compuestos bioactivos, sustancias químicas que se encuentran en pequeñas cantidades cumpliendo distintas funciones como suelen ser compuestos fenólicos, vitamina C, ácido cítrico (Benestante et al., 2023).

Métodos de extracción

Los métodos de extracción utilizados incluyen la extracción con un disolvente orgánico o mezclas de disolventes, que se basa en la transferencia de masa desde la muestra al disolvente de extracción según la solubilidad del analito en dicho disolvente. Donde se emplean solventes orgánicos como etanol, metanol y acetona para extraer los aceites, los flavonoides, carotenoides entre otros compuestos. En este tipo de extracción se utilizan diferentes técnicas desde la maceración, el soxhlet, la agitación magnética y la extracción por microondas. La extracción por ultrasonido utiliza cavitación ultrasónica para mejorar la eficiencia de la extracción al romper las paredes celulares de la cáscara y liberar los compuestos bioactivos, siendo un método rápido y que reduce la cantidad de solvente requerido (Alara et al., 2021). Además se ha reportado el uso de extracción por ultrasonido para cáscaras de cítricos como la naranja, donde obtuvieron un alto contenido de compuestos bioactivos (M'hiri et al,. 2015).

Organismo modelo *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor (TM), un escarabajo de la familia Tenebrionidae, es uno de los insectos más estudiados en el mundo científico. TM, como todos los insectos, es un animal poiquilotérmico y tiene una alta tasa de conversión alimenticia (Hong et al., 2020). Este es un organismo modelo que permite realizar experimentos a nivel laboratorio.

Plagas en la región Huasteca

En las regiones del estado de San Luis Potosí existen gran variedad de plagas que afectan a una gran parte de los cultivos. Se ha establecido la atención a sectores de la población vulnerables y fomentar la producción de cultivos de caña, maíz, frijol, trigo panificador, etc. Se buscan alternativas para aminorar los costos de producción en insecticidas y plaguicidas para el control de plagas que afectan en un gran porcentaje en el buen crecimiento de los cultivos. Las plagas

han representado un problema serio para la producción de cultivos, estas afectan a la planta en forma directa y en muchos casos son responsables de la transmisión de enfermedades y causante de pérdidas de gran parte de cultivos. Algunas de las alternativas viables para reducir densidades poblacionales de plagas han sido los controles de insecticidas botánicos ya que tienen la propiedad de aminorar los costos de producción por ser productos no persistentes, ayudan al control y eliminación de plagas, no ocasionan daños a organismos benéficos y se biodegradan rápidamente (García et al., 2015).

Los plaguicidas químicos afectan la salud humana y animal, contaminando el aire, suelos y agua, son sustancias químicas utilizadas para controlar, prevenir o destruir las plagas que afectan a las plantaciones agrícolas (Bedmar 2011). Plaguicidas organofosforados, organoclorados, carbamatos, bipiridilos, clorofenoles y fenoxiácidos; afectan, principalmente, el sistema nervioso central y sistema nervioso periférico. Piretrinas y triazinas alteran el funcionamiento adrenal. Los organofosforados entran por la dermis y se acumulan en el tejido adiposo, apareciendo los efectos de intoxicación 1-3 h después (Guerra et al., 2006).

El DDT; un insecticida organoclorado, soluble en grasas y disolventes apolares, prácticamente insoluble en agua, y prohibido su uso actualmente; es uno los plaguicidas químicos más tóxicos fabricados. Su toxicidad es debido a su estabilidad y persistencia en el ambiente. La toxicidad de muchos plaguicidas se basa, principalmente en su acumulación en el tejido adiposo de humanos y animales (Turusov et al., 2002). Aunque, los plaguicidas químicos también tienen efecto benéfico; ya que son capaces de controlar plagas en grandes extensiones de terreno sembrado, eliminan vectores que afectan los cultivos y la salud humana; los efectos son negativos a largo plazo. Considerando lo anterior, se hace necesario encontrar alternativas para realizar una agricultura sustentable. Un adecuado Manejo Integrado de Plagas Agrícolas integra el control biológico de plagas, los biopesticidas, y otras alternativas. Los biopesticidas, son una alternativa importante para ser considerada (Lengai et al., 2018). Son sustancias químicas naturales que controlan plagas agrícolas por mecanismos no tóxicos y de manera amigable con el medio ambiente. Muchos de los biopesticidas, actualmente en desarrollo, se basan en la disponibilidad de plantas locales, como *Azadirachta indica* (Neem), *Moringa oliefera*, *Melia azedarach* (Paraíso), entre otras (Esparza et al., 2010).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue investigar el potencial insecticida de los extractos de residuos de naranja y limón provenientes de la región de la Huasteca Potosina, analizando su efecto sobre la mortalidad y comportamiento de *T. molitor*. Este estudio contribuirá al desarrollo de estrategias de manejo de plagas más ecológicas y sostenibles, alineadas con los principios de la agroecología y la sostenibilidad ambiental.

METODOLOGÍA

Obtención de la muestra

La cáscara de las frutas en este caso el limón (*citrus limon*) y la naranja (*citrus sinensis*), se obtuvieron de los residuos generados del mercado local de Ciudad Valles, San Luis Potosí, donde preparan jugos y limonadas. Posteriormente se procedió a limpiar las cáscaras con agua de la llave para eliminar la tierra. Cabe destacar que se utilizó el residuo agroindustrial completo las cáscaras junto con el bagazo. Se picaron en cuadritos pequeños y se almacenaron en bolsas completamente limpias a 4 °C para su posterior uso.

Preparación de los extractos de residuos cítricos

Se realizó un diseño factorial 3 a la 2, con 3 concentraciones de etanol (100 %, 50 % y 25 %) por triplicado para los residuos de naranja y limón por separado Figura 1. Se utilizó 1 g de materia seca en 10 mL de solvente. Los extractos se realizaron en el ultrasonido a un tiempo de extracción de 10 minutos.

Cada extracto se filtró con papel Whatman No. 1 para eliminar el sólido. Posteriormente se evaporó el solvente por medio de la estufa a una temperatura de 50 °C por 60 horas.

Figura 1.

Extracción de los residuos cítricos

Nota: La presente imagen muestra los experimentos realizados para la extracción de los compuestos bioactivos de residuos de naranja y limón. Fuente: Propia

Aplicación de los extractos con el organismo modelo *Tenebrio molitor*

Se realizó el rociado de los extractos sobre el organismo modelo *Tenebrio molitor* y posteriormente se les colocó alimento en una parte del recipiente. Los experimentos se cubrieron con una tapa que tiene una parte de malla para regular el aire entrante a los organismos. Las muestras se colocaron en un área que permitía la ventilación de las mismas a temperatura ambiente. Los experimentos se realizaron por quintuplicado para cada una de las concentraciones de extracción.

Monitoreo del organismo modelo *Tenebrio molitor*

Se llevó a cabo un registro diario de los *Tenebrios molitor* vivos y muertos en cada experimento realizado, con el fin de comprobar cuál extracto era más eficiente contra los insectos.

Evaluación de resultados obtenidos

Al obtener la totalidad de registros del insecto modelo con los diferentes extractos se realizó un análisis estadístico. Los datos obtenidos para la mortalidad con los extractos de residuos de limón y naranja se analizaron utilizando el ANOVA. Las medias de los tratamientos se compararon utilizando la prueba de rango múltiple de Tukey. Los análisis se realizaron utilizando el software statistica 7.

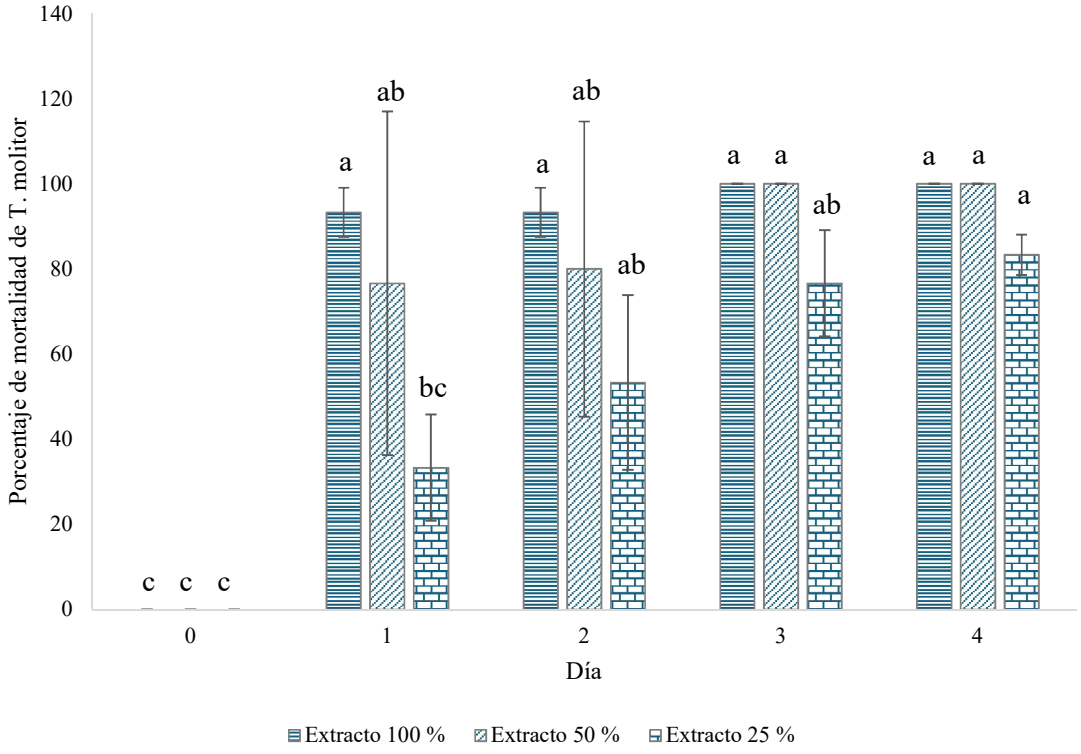
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran los resultados de la eficiencia de mortalidad de los extractos de residuos de naranja utilizando distintas concentraciones de etanol para la extracción, bajo el equipo de ultrasonido. Una vez colocados todos los experimentos y aplicados los tratamientos con sus respectivas repeticiones, se comenzó el proceso de monitoreo, el cual fue por 4 días consecutivos.

Con el monitoreo diario se buscó observar los cambios en el insecto modelo y evaluar la efectividad de cada uno de los tratamientos. Se observó que para las concentraciones de 100 % y 50 % lograron una mortalidad total de *Tenebrio molitor* al tercer día. Mientras que la concentración del 25 % no fue igual efectiva, con un porcentaje de mortalidad del 76.66 % al tercer día (Figura 2). Sin embargo, el análisis estadístico nos muestra que al cuarto día no hay una diferencia significativa entre los tres tratamientos. En la Figura 3 muestra los experimentos realizados por triplicado con el insecto modelo *T. molitor*. Donde se observa que el insecto no logro llegar a su etapa de adulto y además presentó cambios en la estructura después de los tratamientos con extractos de residuos de cítricos. También los *T. molitor* presentaron una coloración más oscura con el paso de los días, hasta llegar al cuarto día donde estaban en su mayoría completamente color marrón oscuro.

Figura 2.

Eficiencia de los extractos de residuos de naranja



Nota: En la presente gráfica se realiza la comparativa de los promedios de la eficiencia de los

extractos de residuos de naranja contra el insecto modelo *Tenebrio molitor*. Letras distintas indican diferencia significativa. Fuente: Propia

Los resultados sugieren que los componentes bioactivos presentes en los extractos de residuos de naranja, tales como los flavonoides y los terpenoides, la efectividad es más rápida a concentraciones más altas. Estos compuestos pueden interferir con el sistema nervioso de los tenebrios, provocando su muerte. La menor mortalidad observada fue en la concentración del 25 % del extracto de residuos de naranja y esto se le puede atribuir a una insuficiente cantidad de los compuestos bioactivos para causar efectos letales de manera breve en el insecto modelo.

Figura 2.

Monitoreo de los experimentos con Tenebrio molitor

Nota: La presente imagen muestra los experimentos realizados con los extractos de residuos cítricos contra el insecto modelo *Tenebrio molitor*. Fuente: Propia

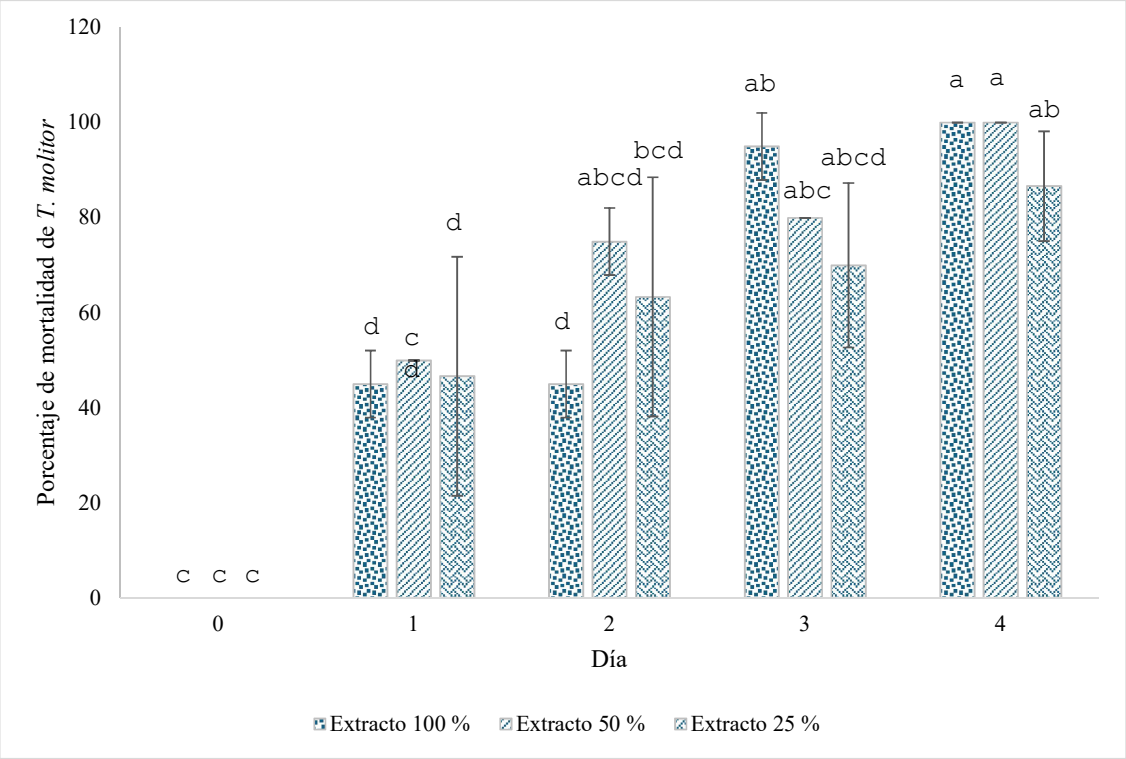
En la Figura 4 se muestran los resultados de la eficiencia de mortalidad de los residuos de extractos de limón utilizando distintas concentraciones de etanol para la extracción, por medio ultrasonido. En los tratamientos con extractos de limón se puede observar para la concentración de 100 % de solvente una mortalidad del 95 % para el tercer día y para el cuarto día, se logró un 100 % de mortalidad. En cambio, en la concentración de 50 % de etanol lograron una mortalidad total de *Tenebrio molitor* al cuarto día. Mientras que la concentración del 25 % solo se obtuvo una mortalidad del 86.66 % para el cuarto día. Sin embargo, al realizar el análisis estadístico, no existe una diferencia entre los tratamientos.

Las concentraciones de extracto de 50 % tanto para naranja como limón son una gran alternativa, ya que se logró una mortalidad del 100 % al tercer y cuarto día respectivamente contra el insecto modelo *T. molitor*. Y además se requiere una concentración menor de etanol.

Si por estrategia se requiere disminuir el uso del solvente, con las concentraciones del 25 % de extractos se lograron mortalidades del 86.66 % y 83.33 % para los extractos de residuos de limón y naranja respectivamente, logrando el potencial insecticida.

Figura 4.

Eficiencia de los residuos de extractos de limón



Nota: En la presente gráfica se realiza la comparativa de los promedios de la eficiencia de los extractos de residuos de limón contra el insecto modelo *Tenebrio molitor*. Letras distintas indican diferencia significativa. Fuente: Propia

Las cáscaras de cítricos contienen valiosas moléculas biológicamente activas, que no se aprovechan plenamente y se desechan como residuos. Las industrias procesadoras de cítricos generan aproximadamente 50 millones de toneladas de residuos anuales, con las cáscaras representando el 50-55 % de estos desechos. Las soluciones tradicionales de gestión de residuos como vertederos, compostaje y alimentación animal no son ideales debido a problemas como el bajo contenido de nitrógeno y las propiedades antimicrobianas del aceite esencial, lo que dificulta la descomposición y compostaje de las cáscaras (Visakh et al., 2022).

Estudios de investigación recientes apuntan a diversas aplicaciones de los aceites esenciales extraídos de los residuos de la cáscara de los cítricos como actividades insecticidas, antimicrobianas y antioxidantes (De Araújo et al., 2020; Mirzaei-Najafgholi et al., 2017). Sin embargo, la mayoría de los estudios anteriores se centraron en las especies individuales de aceites esenciales de hojas y cáscaras de cítricos. Por el contrario, la caracterización comparativa del aceite esencial a partir de diferentes residuos de cáscara de cítricos y sus

estudios de insecticidas, antioxidantes y fitotoxicidad siguen siendo poco conocidos.

Los aceites esenciales presentan muchas ventajas con comparación con los productos químicos sintéticos, entre estas destacan una menos toxicidad para los mamíferos, reducción o evitación de insecticidas, resistencia, actividad biofumigante y de las más importantes menor persistencia ambiental (Visakh et al., 2022).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que los compuestos derivados de los residuos de cáscara de naranja y de limón poseen propiedades bioactivas eficaces en la reducción de la población del insecto plaga *Tenebrio molitor*. Las concentraciones más efectivas de los extractos fueron las de 100 % y 50 % tanto para residuos de cáscara de limón como de naranja, con un 100 % de mortalidad contra el insecto modelo *T. Molitor*. Sin embargo, se evidenció que, en los extractos de residuos de naranja, la población del organismo modelo había disminuido a un 80 % para el segundo día con la concentración de solvente de 50 %. Esta concentración presenta los mejores resultados, con un tiempo corto de mortalidad.

Los ensayos demostraron que estos extractos, aplicados en concentraciones adecuadas, interfieren en el ciclo de vida del insecto modelo *Tenebrio molitor*, reduciendo su tasa de reproducción y aumentando la mortalidad. Los extractos tienen propiedades insecticidas gracias a los compuestos bioactivos presentes. Dentro de los aceites esenciales presentes destaca el limoneno, el cual ha mostrado un buen efecto insecticida contra plagas de granos almacenados (Visakh, et al., 2022). Los extractos al no presentar fitotoxicidad se pueden emplear no solo como insecticidas en cultivos, sino en harinas y granos almacenados (Visakh, et al., 2022), o también para eliminar insectos en el hogar en zonas muy tropicales, como lo es la Huasteca Potosina.

La realización de extractos de residuos cítricos con propiedades insecticidas representa una estrategia multifacética que aborda problemas ambientales, económicos y de salud, al mismo tiempo que ofrece soluciones sostenibles y efectivas para el control de plagas, y apoya a la economía local. La gestión de residuos alimentarios dentro de la industria alimentaria es fundamental, lo que estimula un creciente interés por el desarrollo de nuevas estrategias de valorización. Y además se estaría trabajando en una economía circular, la cual se emplea como estrategia para reducir el daño ambiental y promover el desarrollo sustentable al utilizar y aprovechar al máximo los recursos. Con este trabajo se logró estudiar el potencial insecticida de los residuos de cítricos, el cual es de bajo costo, aprovechando los residuos agroindustriales de la región y otorgándoles un valor agregado, para aplicarlo en los cultivos afectados por diversas plagas. Esta alternativa biológica ofrece una solución más sostenible y menos tóxica en comparación con los pesticidas químicos tradicionales, los cuales causan problemas de contaminación y daño a la salud humana.

REFERENCIAS

Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current research in food science*, *4*, 200-214.

Bedmar, F. (2011). ¿Qué son los plaguicidas?. *Ciencia hoy*, *21*(122), 11-16.

Benestante, A., Chalapud, M. C., Baümler, E., & Carrín, M. E. (2023). Physical and mechanical properties of lemon (Citrus lemon) seeds. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *22*(4), 205-213.

Cano-Lamadrid, M., & Artes-Hernandez, F. (2021). By-products revalorization with non-thermal treatments to enhance phytochemical compounds of fruit and vegetables derived products: A review. *Foods*, *11*(1), 59.

Castillo-González, E., De Medina-Salas, L., Giraldi-Díaz, M. R., Velásquez-De La Cruz, R., & Jiménez-Ochoa, J. R. (2024). Environmental Impacts Associated with the Production and Packing of Persian Lemon in Mexico through Life-Cycle Assessment. *Clean Technologies*, *6*(2), 551-571.

Chen, Z. T., Chu, H. L., Chyau, C. C., Chu, C. C., & Duh, P. D. (2012). Protective effects of sweet orange (Citrus sinensis) peel and their bioactive compounds on oxidative stress. *Food chemistry*, *135*(4), 2119-2127.

Córdova Preciado, M. L., Salgado Beltrán, L., & Bravo Díaz, B. (2021). Circular economy and it's situation in Mexico. *Indiciales*, *1*(1), 13.

De Araújo, A. C. J., Freitas, P. R., dos Santos Barbosa, C. R., Muniz, D. F., Rocha, J. E., da Silva, A. C. A., ... & Coutinho, H. D. M. (2020). GC-MS-FID characterization and antibacterial activity of the Mikania cordifolia essential oil and limonene against MDR strains. *Food and Chemical Toxicology*, *136*, 111023.

Esparza-Díaz, G., López-Collado, J., Villanueva-Jiménez, J. A., Osorio-Acosta, F., Otero-Colina, G., & Camacho-Díaz, E. (2010). Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de Azadirachta indica A. Juss. *Agrociencia*, *44*(7), 821-833.

Esposito, M., Tse, T., & Soufani, K. (2018). The circular economy: An opportunity for renewal, growth, and stability. *Thunderbird international business review*, *60*(5), 725-728.

Farag, M. A., Abib, B., Ayad, L., & Khattab, A. R. (2020). Sweet and bitter oranges: An updated comparative review of their bioactives, nutrition, food quality, therapeutic merits and biowaste valorization practices. *Food Chemistry*, *331*, 127306.

Garcia, B. F. (2015). Aplicación de los residuos cítricos como fuente de biocidas naturales. Obtención de extractos bioactivos (Doctoral dissertation, Universidad de Cádiz).

Guerra, E., Gutiérrez, A., Tongo, P., Guzman, F., Jiménez, M., & Chávez, H. (2006). Detección significativa de plaguicidas en agricultores, frutos, y suelos del alto y bajo Piura. *Universalia*, *11*(2), 24-32.

Gullón, B., & Yáñez, R. (2022). Recovery of high value-added compounds from food by-product. *Foods*, *11*(12), 1670.

Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (Tenebrio molitor Larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review. *Animals*, *10*(11), 2068.

Lengai, G. M., & Muthomi, J. W. (2018). Biopesticides and their role in sustainable agricultural production. *Journal of Biosciences and Medicines*, *6*(6), 7-41.

Maqbool, Z., Khalid, W., Atiq, H. T., Koraqi, H., Javaid, Z., Alhag, S. K., & Al-Farga, A. (2023). Citrus waste as source of bioactive compounds: Extraction and utilization in health and food industry. *Molecules*, *28*(4), 1636.

Mirzaei-Najafgholi, H., Tarighi, S., Golmohammadi, M., & Taheri, P. (2017). The effect of citrus essential oils and their constituents on growth of Xanthomonas citri subsp. citri. *Molecules*, *22*(4), 591.

M'hiri, N., Ioannou, I., Boudhrioua, N. M., & Ghoul, M. (2015). Effect of different operating conditions on the extraction of phenolic compounds in orange peel. *Food and bioproducts processing*, *96*, 161-170.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *science*, *347*(6223), 1259855.

Suri, S., Singh, A., & Nema, P. K. (2022). Current applications of citrus fruit processing waste: A scientific outlook. *Applied Food Research*, *2*(1), 100050.

Topuz, A. Y. H. A. N., Topakci, M. E. H. M. E. T., Canakci, M. U. R. A. D., Akinci, I., & Ozdemir, F. E. R. A. M. U. Z. (2005). Physical and nutritional properties of four orange varieties. *Journal of Food Engineering*, *66*(4), 519-523.

Turusov, V., Rakitsky, V., & Tomatis, L. (2002). Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence, and risks. *Environmental health perspectives*, *110*(2), 125-128.

Visakh, N. U., Pathrose, B., Chellappan, M., Ranjith, M. T., Sindhu, P. V., & Mathew, D. (2022). Chemical characterisation, insecticidal and antioxidant activities of essential oils from four Citrus spp. fruit peel waste. *Food Bioscience*, *50*, 102163.

Visakh, N. U., Pathrose, B., Narayanankutty, A., Alfarhan, A., & Ramesh, V. (2022). Utilization of pomelo (*Citrus maxima*) peel waste into bioactive essential oils: Chemical composition and insecticidal properties. *Insects*, *13*(5), 480.

TECTZAPIC®
Revista Académico-Científica

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Gestión del agua y vulnerabilidad climática del Río Valles

Water Management and Climate Vulnerability of the Valles River

Recibido: 30 de mayo 2024
Aceptado: 19 de junio de 2024

Habacuc Lorenzo Márquez
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles
https://orcid.org/0000-0001-7060-6188
Autor de correspondencia: habacuc.lorenzo@tecvalles.mx
Baldomero Ponce Medina
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles
https://orcid.org/0009-0000-7957-5007
Cuitlahuac Mojica Mesinas
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles
https://orcid.org/0000-0001-8585-8249
Raúl Altamirano Zúñiga
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles
https://orcid.org/0000-0003-4757-248X

RESUMEN

Este estudio analiza la disminución significativa del caudal del Río Valles, un recurso hídrico crucial para la región de la Huasteca Norte en San Luis Potosí, México. La investigación se centra en comprender cómo la fragmentación institucional, la extracción intensiva de agua y los efectos del cambio climático han afectado negativamente tanto la cantidad como la calidad del agua en este río. Utilizando el método del flotador para medir caudales y el método Tennant para determinar caudales ecológicos, se observó una alarmante reducción en los flujos de agua en sitios críticos, como Veladero, en comparación con datos históricos. Los resultados subrayan la necesidad de mejorar la gobernanza del agua y de adoptar medidas de adaptación al cambio climático. Se concluye que es esencial implementar caudales ecológicos y políticas de gestión más estrictas para preservar la salud del río y garantizar la sostenibilidad hídrica de la región.

Palabras clave: Gobernanza del agua, cambio climático, caudal ecológico, Río Valles, sostenibilidad hídrica.

Abstract

This study analyzes the significant decrease in the flow of the Valles River, a crucial water resource for the Huasteca Potosina region in San Luis Potosí, Mexico. The research focuses on understanding how institutional fragmentation, intensive water extraction, and the effects of climate change have negatively impacted both the quantity and quality of water in this river. Using the float method to measure flow and the Tennant method to determine ecological flows, an alarming reduction in water flow was observed at critical sites such as Veladero, compared to historical data. The results underscore the need to improve water governance and adopt climate change adaptation measures. It is concluded that implementing ecological flows and stricter management policies is essential to preserve the river's health and ensure the region's water sustainability.

Keywords: Water governance, climate change, ecological flow, Valles River, water sustainability.

INTRODUCCIÓN

Los ríos, más que simples corrientes de agua, han sido manifestaciones esenciales del ciclo natural de la vida. La teoría del río continuo, ampliamente reconocida en la ecología fluvial, propone que los ríos no son entidades estáticas, sino sistemas dinámicos en constante cambio. Este flujo perpetuo no solo ha moldeado los paisajes, sino que también ha sostenido la vida a lo largo de sus cauces, conectando ecosistemas y comunidades (Vannote et al., 1980). Los ríos actúan como arterias que transportan agua, nutrientes, sedimentos y organismos, subrayando la importancia de su gestión sostenible, ya que cualquier alteración en su flujo puede tener repercusiones significativas en el medio ambiente y en las poblaciones humanas que dependen de ellos (Naiman et al., 2005).

El río Valles, ubicado en la región Huasteca Norte, en el estado de San Luis Potosí, México, se presenta como un ejemplo claro de un sistema fluvial cuya salud es vital tanto para el ecosistema regional como para las actividades humanas. Con un recorrido 3,178.71 km^2 desde su nacimiento en la Sierra Madre Oriental hasta su confluencia con el río Tampaón, el Valles ha sido un pilar de desarrollo agrícola, industrial y urbano. Sin embargo, en las últimas décadas, el río ha mostrado signos de estrés debido a factores como el crecimiento poblacional, la expansión industrial y los efectos del cambio climático, afectando tanto la cantidad como la calidad del agua y derivando en desafíos significativos para la región (Santacruz de León & Aguilar-Robledo, 2009).

La gestión del agua y la vulnerabilidad climática en la cuenca del río Valles son temas de creciente preocupación. El caudal del río, es decir, la cantidad de agua que fluye por su cauce en un determinado periodo ha disminuido en un 20% en las últimas décadas (Santacruz de León & Aguilar-Robledo, 2009). Este descenso refleja una reducción en la disponibilidad de agua, y por consiguiente un aumento en la concentración de contaminantes, comprometiendo la salud de los ecosistemas acuáticos y la seguridad hídrica de las comunidades locales. Ante esta situación, se han implementado diversas iniciativas para proteger y restaurar el río, incluyendo proyectos de tratamiento de aguas residuales y campañas de concienciación sobre el uso eficiente del agua (González Villela, Sánchez Chávez, Bravo Inclán, & Mijangos Carro, 2018). La región de Ciudad Valles ha enfrentado desafíos significativos en la gestión de sus recursos hídricos, agravados por el cambio climático y una sequía prolongada. Este fenómeno, que se ha manifestado en alteraciones en los patrones de precipitación y un aumento de las temperaturas, ha incrementado la presión sobre el río Valles, especialmente durante la temporada de estiaje, cuando la cantidad de agua disponible resulta insuficiente para sostener los sistemas productivos y satisfacer la demanda urbana. La extracción de agua para riego agrícola y uso urbano, junto con el vertido de aguas residuales, ha alterado significativamente la dinámica natural del río, reduciendo su capacidad de autorregulación y comprometiendo su función ecológica (Santacruz de León, 2012). En este contexto, es crucial comprender cómo estos factores, junto con la vulnerabilidad durante la temporada de estiaje, han influido en el caudal y, en consecuencia, en la disponibilidad de agua para las necesidades de la región (Dávila-Ortiz, Algara-Siller, & Velázquez-Zapata, 2020; Guevara Pérez, 2007; Alvizuri Tintaya & Pacheco, 2015; Martínez Bárcenas, Herrera Fernández, & Orozco Medina, 2022).

La gobernanza del agua, entendida como el marco de políticas, leyes y prácticas que rigen la gestión del recurso hídrico, ha jugado un papel crítico en la situación del río Valles (Wester, Hoogesteger, & Vincent, 2009). La falta de una gobernanza efectiva ha contribuido a la

sobreexplotación del río y a la degradación de su ecosistema. En particular, la ausencia de regulaciones adecuadas y la falta de coordinación entre las instituciones responsables han permitido prácticas insostenibles que han agravado los problemas de la cuenca (Santacruz de León, 2012). Evaluar y mejorar estos mecanismos de gobernanza es esencial para asegurar que el agua se gestione de manera equitativa y sostenible (Tortajada, 2010).

Este estudio tiene como objetivo general medir y comparar el caudal en ocho secciones del río Valles, utilizando datos históricos y actuales, para analizar cómo la gobernanza del agua, el cambio climático y el concepto de caudal ecológico han afectado la disponibilidad y calidad del agua. Este análisis permitirá identificar las áreas más vulnerables del río y proponer medidas de gestión que puedan aplicarse en Ciudad Valles y otras regiones con desafíos similares. Para alcanzar estos objetivos, se cuantificó el caudal en las secciones definidas, utilizando mediciones actuales y comparándolas con datos históricos (Guevara Pérez, 2007; Santacruz de León, 2012; Dávila-Ortiz et al., 2020; Alvizuri Tintaya & Pacheco, 2015; Martínez Bárcenas et al., 2022), se analizó el concepto de caudal ecológico en el contexto del río Valles, determinando los flujos mínimos necesarios para mantener la salud del ecosistema. Este aspecto es crucial, ya que un caudal ecológico adecuado es esencial no solo para la biodiversidad, sino también para asegurar que el río pueda continuar proporcionando agua de calidad para las comunidades que dependen de él (Poff et al., 1997).

La importancia de este estudio radica en la necesidad de abordar de manera efectiva los desafíos relacionados con la gestión del agua en la cuenca del río Valles. Este río ha sido vital como fuente de agua, así como un componente esencial del ecosistema local. La disminución del caudal y la degradación de la calidad del agua amenazan la biodiversidad, la salud pública y la economía de la región (Martínez-Austria & Bandala, 2017). Este estudio proporciona una base para la toma de decisiones en la gestión del agua en la cuenca del río Valles. Al medir y comparar el caudal en diferentes secciones del río, el estudio identificó las áreas más afectadas. Además, al analizar el impacto del cambio climático y la efectividad de la gobernanza del agua, el estudio ofrece recomendaciones para mejorar la gestión del recurso hídrico y reducir la vulnerabilidad de la región (Nava, Torres Bernardino, & Orozco, 2024; Oscar, 2024; Honkanen-Chagoya, 2024; Huerta-Vergara & Escolero, 2024). Existen limitaciones inherentes a este estudio. La disponibilidad y calidad de los datos históricos sobre el caudal del río Valles pueden ser dispares, lo que podría afectar la precisión de las comparaciones temporales (Santacruz de León, 2012). Además, el cambio climático introduce variables complejas que pueden ser difíciles de analizar de manera aislada (Dávila-Ortiz et al., 2020; Guevara Pérez, 2007; Alvizuri Tintaya & Pacheco, 2015; Martínez Bárcenas et al., 2022). A pesar de estos desafíos, el estudio se esfuerza por considerar todos los factores relevantes, aunque es posible que algunos aspectos del impacto del cambio climático no puedan ser completamente capturados.

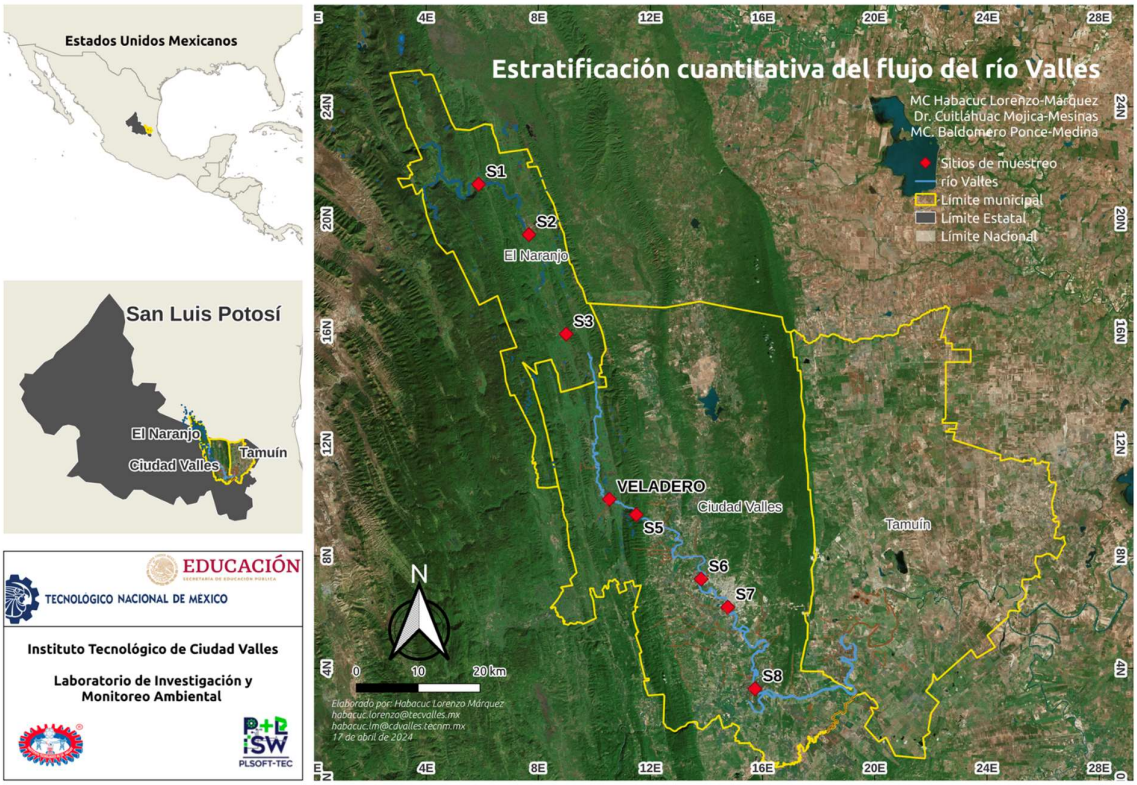
Otra limitación es la capacidad de generalización de los resultados. Aunque este estudio se centra en el río Valles, los hallazgos pueden no ser aplicables a otras cuencas con características diferentes (Santacruz de León, 2012). Sin embargo, se espera que las metodologías y recomendaciones propuestas puedan servir como modelo para otras regiones que enfrentan desafíos similares en la gestión del agua (Guevara Pérez, 2007; Madrid Casado, 2020).

METODOLOGÍA

Localización

Ciudad Valles se localiza en la región oriental del estado de San Luis Potosí, en el corazón de la Huasteca Potosina, México. Está situada en las coordenadas 21°59' de latitud norte y 99°00' de longitud oeste, a una altitud aproximada de 90 metros sobre el nivel del mar. Esta ciudad es atravesada por el río Valles, un afluente clave que nace en la Sierra Madre Oriental y fluye a través de la ciudad hacia el río Tampaón. El río Valles, con una longitud aproximada de 3,178.71 km^2, es vital para el desarrollo agrícola, industrial y urbano de la región. Como se observa en la Figura 1, la ubicación estratégica de Ciudad Valles y el curso del río destacan su importancia hidrográfica en la región, siendo fundamental tanto para la biodiversidad como para las actividades humanas en la Huasteca Potosina.

Figura 1.



Mapa de ubicación sitios de muestreo río Valles. Cd Valles, San Luis Potosí.
Nota: En el presente mapa de detallan los sitios seleccionados para calcular el caudal.
Fuente: Elaboración propia.

Criterios de inclusión de los sitios de estudio

Para seleccionar los sitios de estudio a lo largo del río Valles, se establecieron criterios específicos que garantizaran la representatividad de las diferentes condiciones ambientales y usos del suelo en la cuenca. Se incluyeron sitios ubicados en distintos puntos del curso del río, desde su nacimiento en la Sierra Madre Oriental hasta su confluencia con el río Tampaón, para captar la variabilidad en la calidad y cantidad de agua a lo largo del gradiente altitudinal.

Además, se seleccionaron sitios que reflejan la influencia de actividades humanas, como la agricultura, la extracción urbana en Ciudad Valles, y las áreas industriales, así como zonas menos intervenidas que permiten evaluar el estado natural del río. Estos criterios aseguraron que los sitios abarcados incluyeran tanto zonas afectadas por la intervención humana como áreas relativamente conservadas, proporcionando un panorama completo de las dinámicas hidrográficas y ecológicas del río Valles.

Medición del caudal

Para medir el caudal del río Valles, se utilizó el método del flotador, un enfoque práctico y ampliamente reconocido en la hidrometría de campo. Este método involucra la medición de la velocidad superficial del agua mediante un objeto flotante. El procedimiento comenzó seleccionando un tramo recto del río con flujo uniforme y sin obstáculos significativos. Se estableció una longitud de prueba (L) entre dos puntos fijos a lo largo del río, y se liberó el flotador en el agua aguas arriba del primer punto. El tiempo (t) que el flotador tardó en recorrer la distancia establecida se midió con un cronómetro. Este proceso se repitió tres veces para obtener un tiempo promedio.

La velocidad superficial del agua (Vs) se calculó utilizando la fórmula:

$$Vs = L/t$$

Donde:

L es la longitud del tramo en metros,
t es el tiempo promedio en segundos.

Para estimar la velocidad media del flujo en toda la sección transversal del río, se aplicó un coeficiente de corrección (k), considerando que la velocidad superficial es mayor que la velocidad media debido a la fricción en el fondo y las orillas. La velocidad media (Vm) se determinó usando la relación:

$$Vm = k \times Vs$$

Donde:

k es un coeficiente empírico que varía típicamente entre 0.8 y 0.9.

La sección transversal del río (A) se calculó midiendo la profundidad en intervalos regulares a lo largo de una transecta perpendicular al flujo y multiplicando por el ancho del río.

Finalmente, el caudal (Q) se calculó como:

$$Q = A \times Vm$$

Este método permitió obtener una estimación del volumen de agua que fluye por el río por unidad de tiempo, expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s). A pesar de su simplicidad, el método del flotador es confiable y se ha validado en diversos estudios hidrométricos debido a su facilidad de aplicación en campo y su capacidad para ofrecer resultados precisos en condiciones adecuadas (Ahn, Yoon, & Ji, 2019; Majdalani, Chazarin, & Moussa, 2019; Eruola et al., 2021; Shin, Park, & Lee, 2016).

Método de caudal ecológico Tennant

El método de Tennant es una herramienta ampliamente utilizada para determinar el caudal ecológico necesario para mantener la salud de los ecosistemas fluviales. Este método se basa en la relación entre el caudal medio anual (CMA) y los porcentajes específicos de ese caudal que deben mantenerse a lo largo del año para asegurar que el ecosistema del río pueda sostenerse. Partiendo del cálculo del caudal medio obtenido mediante métodos como el flotador, se aplican diferentes porcentajes del CMA, que varían desde el 10% hasta el 60% o más, dependiendo de las necesidades ecológicas específicas del río. Estos porcentajes permiten establecer caudales mínimos, óptimos y máximos que garantizan la supervivencia de la biodiversidad, así como la capacidad del río para cumplir con sus funciones ecológicas. El método de Tennant, aunque sencillo, se ha mejorado en varios estudios para reflejar mejor la variabilidad temporal y espacial del flujo, así como para adaptarse a diferentes contextos hidrológicos y ecológicos (Guo, 2009; Dong et al., 2012; Li & Kang, 2014; Fu, Wang, & Ye, 2020).

Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias significativas entre los ocho sitios de muestreo a lo largo del río Valles, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, utilizando datos recolectados en triplicado para cada sitio. Previo al ANOVA, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Debido a que algunos datos no cumplían con estos supuestos, se aplicó una transformación de datos utilizando la técnica de Box-Cox, lo que permitió estabilizar las varianzas y acercar la distribución de los datos a la normalidad (Ahmad, Naing, & Rosli, 2014).

Posteriormente, se realizó el ANOVA para identificar diferencias significativas entre los sitios, seguido por un análisis post hoc de Tukey para determinar qué pares de sitios presentaban diferencias significativas específicas (McHugh, 2011). Todo el análisis se realizó utilizando Google Colab, aprovechando su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y realizar cálculos complejos en tiempo real. La combinación de estos métodos permitió asegurar que las conclusiones fueran robustas y estadísticamente válidas, considerando la heterogeneidad de los datos y ajustando correctamente las comparaciones múltiples (Sileshi, 2007; Vieira et al., 2018; Liu, Cripe, & Kim, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio del caudal del río Valles revelan una significativa variación en los caudales medidos en diferentes puntos del río. En particular, se observa una marcada disminución del caudal en ciertos sitios críticos, como Veladero, donde el caudal registrado fue 0.272 m^3/s, en contraste con los caudales más elevados observados en sitios como S1 (4.280 m^3/s) y S4 (4.480 m^3/s). Esta disminución sugiere la existencia de factores específicos que impactan negativamente el flujo de agua en estos puntos, como se ilustra en la Tabla 1, donde se presentan los caudales calculados para cada sitio analizado, proporcionando una visión más detallada de las variaciones a lo largo del río.

Tabla 1.

Caudales calculados en los puntos de monitoreo establecidos del Río Valles.

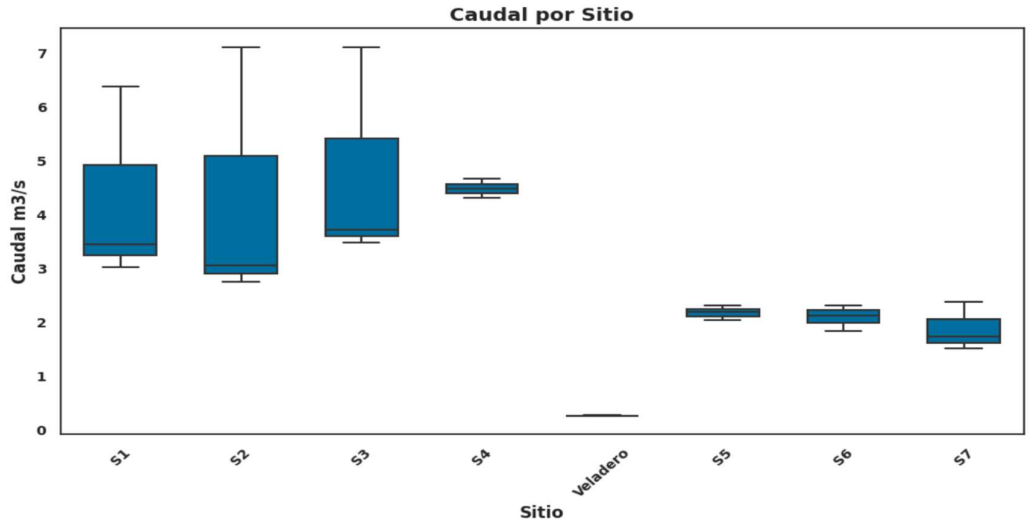
Nota: La presente tabla detalla los caudales calculados y características importantes de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Sitio	Caudal (m³/s)	Coordenadas UTM zona 14Q	Hora de muestreo	Fecha de muestreo
S1	4.28	458264 m E, 2497543 m N	11:10	18/04/2024
S2	4.3	466366 m E, 2489503 m N	12:57	18/04/2024
S3	4.76	472314 m E, 2473620 m N	13:59	18/04/2024
S4	4.48	477039 m E, 2956822 m N	15:26	18/04/2024
Veladero	0.272	479214 m E, 2447223 m N	16:00	18/04/2024
S5	2.18	483550 m E, 2444750 m N	17:00	18/04/2024
S6	2.1	493983 m E, 2434444 m N	09:33	19/04/2024
S7	1.88	498286 m E, 2429945 m N	11:40	19/04/2024
S8	SD	502662 m E, 2416875 m N	12:30	19/04/2024

El análisis estadístico realizado, que incluyó una prueba de ANOVA (Figura 2), reveló diferencias significativas entre los caudales de las distintas estaciones ($F = 4.7363$, $p = 0.0048$), lo que indica que las variaciones observadas no son aleatorias, sino que responden a condiciones particulares de cada sitio. Estas diferencias fueron más notorias entre Veladero y las estaciones situadas aguas arriba (S1, S2, S3, y S4). Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas confirmaron que los datos cumplen con los supuestos necesarios para el análisis, fortaleciendo la confiabilidad de los resultados obtenidos (Figura 2).

Figura 2.

Distribución de caudales del Río Valles.



Nota. Fuente propia.

Además, de la cantidad de agua, la calidad del agua emergió como un factor crucial que debe considerarse, especialmente en zonas donde la extracción y el uso del agua para fines agrícolas e industriales son intensivos. Estos factores afectan tanto la cantidad de agua disponible como su capacidad para sostener la biodiversidad acuática y los servicios ecosistémicos del río.
La marcada reducción del caudal en el sitio Veladero puede atribuirse a varios factores, entre ellos la extracción intensiva de agua para riego y posibles alteraciones morfológicas del río. La fragmentación institucional y la falta de coordinación efectiva entre diferentes niveles de gobierno y usuarios del agua son factores que, según Tortajada (2010), exacerban los problemas de gestión del agua y contribuyen al uso insostenible del recurso. Esta fragmentación es evidente en la cuenca del río Valles, donde múltiples actores compiten por un recurso limitado sin una regulación adecuada.

Históricamente, los conflictos por el uso del agua en la región, como se describe en el estudio de Aguilar-Robledo (2014), han intensificado la competencia por el recurso durante periodos de escasez, exacerbando la desigualdad en su acceso y contribuyendo a la disminución del caudal en tramos específicos del río.
La reducción de los caudales, especialmente en sitios críticos como Veladero, tiene implicaciones directas para la biodiversidad acuática. Según Santacruz de León y Aguilar-Robledo (2009), la disminución en los caudales ecológicos puede comprometer la supervivencia de especies acuáticas que dependen de ciertos niveles de flujo para su hábitat. La comparación de los caudales observados en este estudio con los valores reportados por Santacruz de León y Aguilar-Robledo (2009) revela patrones preocupantes:

1. Estación Micos (Río Valles): En el estudio de Santacruz de León, la estación Micos reportó un caudal medio anual de 28.98 m^3/s (1960-1975), mientras que, en nuestro estudio, el sitio más cercano a esta área mostró un caudal significativamente menor (2.180 m^3/s), lo que refleja una disminución sostenida en los niveles de agua disponibles para mantener el ecosistema acuático.
2. Estación Santa Rosa: Similarmente, el caudal medio anual en Santa Rosa ha disminuido de 26.01 m^3/s (1976-2000) a niveles que también muestran una reducción en nuestro estudio (2.100 m^3/s), exacerbada por las extracciones y el cambio climático.

Estas disminuciones proyectadas en los caudales debido al cambio climático, como se detalla en el estudio sobre la variabilidad del régimen hidrológico en la región Huasteca, podrían agravar la situación. Las proyecciones indican una disminución significativa en los caudales medios y extremos, lo que afectaría tanto el suministro de agua como la biodiversidad en el río Valles (Salinas-Jiménez, 2020). La experiencia en la gestión del agua en contextos de sobreexplotación, como el caso de los COTAS en Guanajuato, resalta la importancia de implementar estrategias de autorregulación y gobernanza adaptativa para mitigar la sobreexplotación de los acuíferos y evitar problemas similares en la cuenca del río Valles (Wester, 2009). La implementación de técnicas de riego más eficientes, como el riego por goteo, y la adopción de sistemas de monitoreo en tiempo real son esenciales para mitigar la reducción del caudal en el río Valles. Estas medidas deben estar respaldadas por una gobernanza del agua más integrada y participativa, que considere tanto las necesidades ecológicas como las demandas socioeconómicas (Tortajada, 2010; Wester, 2009).

El concepto de caudal ecológico, como se describe en la guía del World Wildlife Fund (2011), es fundamental para la preservación de los ecosistemas acuáticos. Establecer caudales mínimos

que garanticen la salud ecológica del río es crucial para preservar la biodiversidad y asegurar la provisión de servicios ecosistémicos a largo plazo (WWF, 2011). Este enfoque debe ser complementado con políticas de gestión que consideren tanto la cantidad como la calidad del agua, como se menciona en el estudio de Santacruz de León y Aguilar-Robledo (2009). Las políticas públicas deben integrar los hallazgos de este y otros estudios para abordar la sobreexplotación de los recursos hídricos en la cuenca del río Valles. La implementación de regulaciones más estrictas sobre la extracción de agua, combinada con incentivos para el uso eficiente del agua, puede contribuir a la sostenibilidad del recurso. Además, es crucial mejorar la instrumentación hidrométrica en la región para obtener datos más precisos y confiables que informen la gestión del agua (Tortajada, 2010).

La experiencia en otras regiones, como la aplicación del método Tennant en el río Valles y en las cuencas del Golfo de California, demuestra la efectividad de los caudales ecológicos como herramienta para la gestión sostenible de los recursos hídricos (Santacruz de León & Aguilar-Robledo, 2009; Salinas-Jiménez, 2020). Sin embargo, la falta de regulación adecuada y la fragmentación en la gobernanza continúan siendo obstáculos que deben superarse. Para enfrentar los desafíos específicos del río Valles, resulta crucial integrar soluciones innovadoras que han mostrado su eficacia en contextos similares. Una de las estrategias iniciales más importantes es la implementación de sistemas de monitoreo hidrométrico en tiempo real. Estas tecnologías avanzadas, que incluyen sensores remotos y plataformas de datos en la nube, permiten un seguimiento continuo del caudal y la calidad del agua, facilitando así una gestión hídrica más precisa y adaptativa. Un ejemplo exitoso de esta tecnología se encuentra en la cuenca del río Ofanto en Italia, donde el monitoreo integral ha mejorado significativamente la capacidad de respuesta ante eventos extremos como sequías e inundaciones, contribuyendo a la sostenibilidad de los recursos hídricos de la región (De Girolamo et al., 2022).

Complementando este enfoque, la adopción de técnicas de riego de alta eficiencia, como el riego por goteo, se presenta como una solución efectiva para reducir el consumo de agua en la agricultura sin comprometer la productividad. Un caso notable es el de la cuenca del río Indo en Pakistán, donde la implementación de estas tecnologías ha permitido aumentar la eficiencia en el uso del agua y mejorar la productividad agrícola, incluso en un contexto de escasez hídrica (Qureshi, 2018). Además, la gobernanza del agua participativa se erige como un componente crucial en la gestión sostenible del recurso. La experiencia en la cuenca del río Murray-Darling en Australia, demuestra que involucrar activamente a todos los usuarios del agua en el proceso de toma de decisiones puede reducir la sobreexplotación y mejorar la equidad en el acceso al recurso (Grafton et al., 2019). Este modelo de gobernanza adaptativa podría replicarse de manera efectiva en la cuenca del río Valles, mitigando así los impactos de la extracción intensiva y fortaleciendo la resiliencia hídrica de la región.

Finalmente, la integración de modelos de predicción hidrológica basados en inteligencia artificial (IA) ofrece una herramienta poderosa para anticipar los efectos del cambio climático y ajustar las estrategias de manejo del agua en consecuencia. Un ejemplo exitoso de esta tecnología se encuentra en la cuenca del río Narmada en India, donde el uso de modelos predictivos con IA ha permitido planificar políticas de gestión hídrica con gran precisión, reduciendo significativamente la vulnerabilidad de la cuenca ante variaciones extremas en el régimen de lluvias (Yadav et al., 2020).

CONCLUSIÓN

La investigación sobre el caudal del río Valles revela que la fragmentación institucional, la extracción intensiva de agua y los efectos adversos del cambio climático han provocado una disminución alarmante en los caudales, particularmente en zonas críticas como Veladero. Esta reducción no solo pone en peligro la biodiversidad acuática, sino que también compromete la seguridad hídrica de las comunidades locales y la viabilidad de las actividades económicas en la región. El estudio destaca la imperativa necesidad de implementar caudales ecológicos y fortalecer la gobernanza del agua para garantizar la resiliencia hídrica del río Valles. Es crucial que las políticas públicas sean más rigurosas y estén basadas en la evidencia científica, para mitigar los impactos del cambio climático y la sobreexplotación del recurso hídrico. Asimismo, se recomienda la adopción de tecnologías de riego más sostenibles y la mejora en la instrumentación hidrométrica para un monitoreo continuo y preciso de los caudales.

REFERENCIAS

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(1), 130-137. https://doi.org/10.1139/F80-017

Naiman, R. J., Bechtold, J. S., Drake, D. C., Latterell, J. J., O'Keefe, T. C., & Balian, E. V. (2005). Origins, patterns, and importance of heterogeneity in riparian systems. Ecosystem function in heterogeneous landscapes, 279-309.

Santacruz de León, G., & Aguilar-Robledo, M. (2009). Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. Hidrobiológica, 19(1), 25-32.

Villela, R. G., Chávez, J. S., Inclán, L. A. B., & Carro, M. M. (2018). El caudal ambiental en el manejo integrado de las cuencas: caso de estudio (río Verde, Oaxaca, México). Aqua-LAC, 10(1), 1-14.

De León, G. S. (2012). Conflictos sociales por el uso del agua en la cuenca del río Valles, Huasteca, México (1900-1945). Revista de El Colegio de San Luis, 2(4), 100-129.

Dávila-Ortiz, R., Algara-Siller, M., & Velázquez-Zapata, J. A. (2020). Variabilidad del impacto del cambio climático en el régimen hidrológico de dos cuencas de la región Huasteca. Ingeniería, investigación y tecnología, 21(3).

Pérez, E. G., & Paredes, F. (2007). Influencia de variables macroclimáticas sobre el régimen pluviométrico del Estado Cojedes, Venezuela. Revista Ingeniería UC, 14(3), 49-56.

Alvizuri Tintaya, P. A., & Pacheco, P. (2015). El impacto del cambio climático en la salud humana en la Cuenca de los ríos Mauri y Desaguadero (Altiplano central boliviano). Revista Ciencia y Cultura, 19(34), 59-80.

Martínez Bárcenas, A., & Orozco Medina, I. (2022). Metodología para evaluar la vulnerabilidad de sistemas hidrológicos ante los potenciales efectos del cambio climático. Acta universitaria, 32.

Martínez Bárcenas, A., Herrera Fernández, M., & Orozco Medina, I. (2022). Evaluación de la incertidumbre asociada a las proyecciones de precipitación considerando el cambio climático en la cuenca del río Turbio de Guanajuato. Acta universitaria, 32.

Wester, P., Hoogesteger, J., & Vincent, L. (2009, February). Local IWRM organizations for groundwater regulation: The experiences of the Aquifer Management Councils (COTAS) in Guanajuato, Mexico. In Natural Resources Forum (Vol. 33, No. 1, pp. 29-38). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

De León, G. S. (2012). Conflictos sociales por el uso del agua en la cuenca del río Valles,

Huasteca, México (1900-1945). Revista de El Colegio de San Luis, 2(4), 100-129.
Tortajada, C. (2013). Water governance: Some critical issues. In Improving Water Policy and Governance (pp. 169-179). Routledge.
Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegaard, K. L., Richter, B. D., ... & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime. BioScience, 47(11), 769-784.
Nava, L. F., Torres Bernardino, L., & Orozco, I. (2024). Crisis Water Management in Mexico. In The Palgrave Encyclopedia of Sustainable Resources and Ecosystem Resilience (pp. 1-21). Cham: Springer International Publishing.
Honkanen-Chagoya, M. (2024). Tourism as a reason and as a justification for water extractivism in Mexico. Limnology and Oceanography, 55(5), 1807-2229.
Huerta-Vergara, A. R., & Escolero, O. (2024). The role of citizen participation in advancing sustainable water solutions: The Mexico City case study. Sustainable Cities and Society, 101, 105104.
Casado, C. M. M. (2020). Filosofía de la Ciencia del Cambio Climático: modelos, problemas e incertidumbres. Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, 20(41), 201-234.
Majdalani, S., Chazarin, J. P., & Moussa, R. (2019). A new water level measurement method combining infrared sensors and floats for applications on laboratory scale channel under unsteady flow regime. Sensors, 19(7), 1511.
Eruola, A. O., Makinde, A. A., Eruola, G. A., & Ayoola, K. O. (2021). Assessment of the rainfall exceedance in Nigeria. Nigerian Journal of Technology, 40(4), 751-761.
Liu, C., Cripe, T. P., & Kim, M. O. (2010). Statistical issues in longitudinal data analysis for treatment efficacy studies in the biomedical sciences. Molecular Therapy, 18(9), 1724-1730.
Yadav, A. K., Chandola, V. K., Singh, A., & Singh, B. P. (2020). Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks (ANNs) model. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(3), 127-135.
Grafton, R. Q., Garrick, D., Manero, A., & Do, T. N. (2019). The water governance reform framework: Overview and applications to Australia, Mexico, Tanzania, USA and Vietnam. Water, 11(1), 137.
Qureshi, A. S. (2018). Challenges and opportunities of groundwater management in Pakistan. Groundwater of South Asia, 735-757.
De Girolamo, A. M., Barca, E., Leone, M., & Porto, A. L. (2022). Impact of long-term climate change on flow regime in a Mediterranean basin. Journal of Hydrology: Regional Studies, 41, 101061.

TECTZAPIC®
Revista Académico-Científica

Revista científica y tecnológica. ISSN: 2444-4944
Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Valles

Fitoquímicos antioxidantes: el caso de *Jatropha dioica, Flourensia cernua, Larrea tridentata, Turnera diffusa and Euphorbia antisiphylitica*

Antioxidant phytochemicals: the case of *Jatropha dioica, Flourensia cernua, Larrea tridentata, Turnera diffusa and Euphorbia antisiphylitica*

Recibido: 30 de mayo 2024
Aceptado: 19 de junio de 2024

Nestor Everardo Aranda Ledesma
Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
https://orcid.org/0009-0005-4333-4769
Romeo Rojas-Molina
Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
https://orcid.org/0000-0001-8947-6125
Claudia Lizeth Robledo-Jiménez
Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
Autor de correspondencia: guillermo.martinezavl@uanl.edu.mx
Guillermo Cristian Guadalupe Martínez Ávila*
Laboratorio de Química y Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo 66054, Nuevo León, México
https://orcid.org/0000-0001-7276-8156

RESUMEN

Dentro de las diversas especies forestales que se albergan dentro de la región norte del semi-desierto mexicano se pueden destacar *Jatropha dioica*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Turnera diffusa*, y *Euphorbia antisiphylitica*. Estas especies han demostrado poseer compuestos bioactivos principalmente de naturaleza polifenólica con potencial para el desarrollo de terapias médicas, así como el control de fitopatógenos. Lo cual se une a la demanda de la sociedad actual por la búsqueda de compuestos antioxidantes de origen natural que permitan reducir el uso de compuestos sintéticos que presentan diversos efectos secundarios negativos para la salud humana y el medio ambiente. El objetivo de la presente revisión consistió en recapitular la información de mayor relevancia durante los meses junio y julio 2024 en instalaciones de la Facultad de Agronomía UANL, Monterrey, Nuevo León sobre la presencia de fitoquímicos en especies del semi-desierto mexicano y sus posibles aplicaciones. La información fue obtenida a partir bases de datos de impacto internacional, haciendo énfasis en el potencial antioxidante de los compuestos fitoquímicos presentes en estas especies y las posibles aplicaciones derivadas de dicho potencial. Los resultados obtenidos sugieren que dentro del semi-desierto mexicano se encuentran especies con compuestos fitoquímicos de valor agregado, cuyo potencial biológico ha sido demostrado ampliamente por diferentes estudios por lo que su explotación puede contribuir a la innovación y desarrollo dentro de la industria farmacéutica como agentes citotóxicos y neuro protectores y agrobiotecnológica para el control de fitopatógenos y como ingrediente activo en alimentos funcionales, siendo los compuestos de tipo flavonoide y terpenos los de mayor relevancia dentro de la composición química de estas especies.

Palabras clave: antioxidantes, fitoquímicos, plantas del semi-desierto, métodos de extracción

ABSTRACT

Among the diverse forest species found in the in the northern region of Mexican semi-desert, notable examples include *Jatropha dioica*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Turnera diffusa*, and *Euphorbia antisiphylitica*. These species have been shown to contain bioactive compounds, primarily polyphenolic in nature, with potential for medical therapy development and phytopathogen control. This aligns with current societal demand for natural antioxidant compounds to reduce reliance on synthetic substances that pose various adverse effects on human health and the environment. This review aims to summarize the most relevant information during June and July of 2024 at the UANL School of Agronomy, Monterrey, Nuevo Leon regarding the presence of phytochemicals in semi-desert species of Mexico and their potential applications. The data were sourced from internationally recognized databases, emphasizing the antioxidant potential of these phytochemical compounds and their possible applications. The findings suggest that the semi-desert of Mexico harbors species with valuable phytochemical

compounds, whose biological potential has been extensively demonstrated by various studies. Their exploitation could contribute to innovation and development within the pharmaceutical industry, these species are used as cytotoxic agents and neuroprotectors, and in the agrobiotechnology industry for controlling phytopathogens and as active ingredients in functional foods. The most relevant compounds in their chemical composition are flavonoids and terpenes

Keywords: antioxidants, phytochemicals, semi-desert plants, extraction methods

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una amplia e importante biodiversidad vegetal, siendo la región norte una de las áreas con más diversidad en donde el clima semidesértico alberga a numerosas especies vegetales adaptadas al clima extremo de la región (Alvarez-Perez et al., 2020). Algunas de las especies más importantes de la región se describen a continuación. *Jatropha dioca* es una planta endémica de México que crece de forma silvestre en regiones áridas y semiáridas. Sus tallos y raíces se han utilizado ampliamente para tratar enfermedades oculares, la diarrea, las hemorroides, así como para el tratamiento de la calvicie y de dolencias dentales (Gutiérrez-Tlahque et al., 2021). Por otra parte, *Flourensia cernua* es una especie endémica que crece a lo largo de los desiertos de Chihuahua y Sonora, estando presente en siete estados de México (Alvarez-Perez et al., 2022). Esta planta se ha utilizado a lo largo de los años como infusión para el tratamiento de diversas enfermedades gastrointestinales, reumatismo, enfermedades venéreas, herpes, bronquitis, varicela y resfriado común (Jasso de Rodríguez et al., 2019). Así también, *Larrea tridentata* es un arbusto perenne que crece en regiones desérticas de Estados Unidos y México, y se caracteriza por su alta resistencia a plagas y enfermedades. En la medicina tradicional, se ha utilizado como tratamiento para la disfunción sexual, reumatismo, artritis, diabetes y daño renal (Morales-Ubaldo et al., 2021). *Turnera diffusa* por su parte, es una especie nativa del estado de Baja California, y sus propiedades medicinales son ampliamente conocidas, utilizándose comúnmente como infusión, y la disfunción sexual es una de las principales dolencias tratadas con esta especie (Reyes-Becerril et al., 2020). Finalmente, la planta candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), es una planta perenne con pocas hojas, la cual consta de tallos cilíndricos que son erectos y están cubiertos de cera. Esta cera sirve como agente impermeabilizante, previniendo la deshidratación del tejido vegetal debido a las condiciones de estrés extremo causadas por el ambiente en el que la planta se desarrolla (Bautista-Hernández et al., 2020).

El interés en la investigación sobre compuestos antioxidantes de origen natural ha ido en aumento debido a sus beneficios para la salud humana (Li et al., 2012). Los polifenoles son los principales compuestos vegetales a los que se les atribuyen propiedades medicinales debido a su actividad antioxidante y capacidad para neutralizar radicales libres, lo que tiene el potencial de ser aplicado para el beneficio de la salud humana, (Stanisavljevic et al., 2012; El-Demerdash et al., 2019), por lo que representan una opción viable para el desarrollo de terapias medicinales. Asimismo, han demostrado tener capacidad de actuar como agentes efectivos para el control de fitopatógenos, reduciendo así, el desarrollo de resistencia ante los agentes químicos sintéticos y al mismo tiempo reduciendo también los efectos negativos a la salud animal y al medio ambiente por la residualidad de los mismos (Tucuch-Pérez et al. 2020).

El objetivo de la presente revisión es sentar las bases sobre la presencia de fitoquímicos es especies vegetales del semi-desierto mexicano, así como el potencial biológico de estos compuestos, los cuales pueden ser aplicados en diversas áreas de la industria farmacéutica y agroalimentaria.

METODOLOGÍA

Con sede en la Facultad de Agronomía de la UANL, Monterrey, Nuevo León, México. Durante los meses de junio y julio de 2024 se realizó una búsqueda especializada en bases de datos especializadas; Google académico (https://scholar.google.es/), Scopus (https://www.scopus.com/home.uri) y *Sciencedirect* (https://www.sciencedirect.com/) Utilizando como palabras clave de búsqueda "antoxidants" "phytochemicals", "*Jatropha dioica", "Flourensia cernua", "Larrea tridentata", " Turnera diffusa"*y *"Euphorbia antisiphylitica".* Se seleccionaron aquellos artículos que estuvieran de acuerdo con el objetivo de esta revisión. En el Cuadro 1 se mencionan las principales propiedades fitoquímicas de las especies analizadas en la presente revisión, la informacion detallada es descrita a lo largo del documento.

Cuadro 1. Principales propiedades fitoquímicas de las especies del semi-desierto mexicano

Especie	Compuestos bioactivos*	Aplicación **	Referencias
J. dioica	Naringenina Apigenina	Efecto antimicrobiano (Importancia Clínica)	Terrazas-Hernández et al. (2018)
	Ésteres alquílicos de ácido acético y ferúlico	Efecto antifúngico (Importancia Agricola)	Gutiérrez-Tlahque et al. (2019)
	Citlalitriono	Efecto antimicrobiano (Importancia Agricola)	Pérez-Pérez et al. (2020)
	Epi-catequina Ácido *p*-hidroxibenzoico	Efecto hipoglucémico	Valenzuela-Soto et al. (2019)
F. cernua	Luteolina 7-O-rutinósido 6- C -glucosil-8- C -arabinosil apigenina	Efecto antifúngico (Importancia agricola)	Álvarez-Pérez et al. (2020)
	Luteolina 7-O-rutinósido Apigenina-6-C-glucosil-8-C-arabinósido	Efecto hipoglucémico	Aranda-Ledesma et al. (2022); Aranda-Ledesma et al. (2024)
L. tridentata	ND	Efecto antimicrobiano (Importancia Agricola)	Morales-Ubaldo et al. (2021)
	4,4'-dihidroxi-3-metoxi-6,7'-ciclolignano ,4-dihidroxi-3',4'-dimetoxi-6,7'-ciclolignano	Efecto antimicrobiano (Importancia Clínica)	Núñez-Mujica et al. (2021)
	Ácido cafeico 4-O-glucósido Ramnetina	Efecto antifúngico (Importancia Agricola)	Bamidele et al. (2024)
T. diffua	Arbutina Apigenina	Efecto citotóxico	Flores y Guadalupe (2014)
	Naringenina Apigenina 7- O -(4″- O - p - E -cumaroil)-glucósido	Efecto citotóxico	Willer et al. (2019)
	Acacetina Apigenina	Efecto neuro activo	Bernardo et al. (2017)
	ND	Expresión génica proinflamatoria	Reyes-Becerril et al. (2021)
	Oplopanona y γ-Eudesmol (Fracción no polar) D-Glucosa y Sucrosa (Fracción polar)	Efecto antimicrobiano (Importancia clínica)	Reyes-Becerril et al. (2021); Reyes-Becerril et al. (2021)

	Apigenina Luteolina	Efecto antifúngico (Importancia agricola)	Tapia-Quirós et al. (2020)
E. antisyphilitica	Candelitanina	Efecto antifúngico (Importancia agricola)	Ascacio-Valdés et al. (2013)

ND: No Disponible, *Solo se mencionan los compuestos más sobresalientes según cada autor, para informacion más detallada consultar cada referencia, **Las aplicaciones biológicas son descritas a detalle en la sección resultados y discusión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de fitoquímicos antioxidantes

Existen diferentes métodos de extracción, tales como la extracción asistida por ultrasonido (EAU), la extracción por reflujo de calor y la extracción por fermentación (Wong-Paz et al., 2015b; Wong-Paz et al., 2014; Wong-Paz et al., 2015a; Wong-Paz et al., 2014; De León et al., 2013). Aunque se han empleado diversas técnicas de extracción (convencionales y no convencionales), la utilización de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) presenta varias ventajas sobre las técnicas convencionales, tales como la selectividad, alta eficiencia, mayor calidad, bajo consumo de energía, menor tiempo de extracción y consumo de solvente, reducción de riesgos químicos y físicos, y un alto nivel de automatización (Chen et al., 2007). En este sentido, Cruz-Aldaco et al. (2019), reportaron que la aplicación de ultrasonido a frecuencia baja y una alta concentración de etanol permite obtener una mayor cantidad de polifenoles hidrosolubles y taninos condensados a partir de extractos de *L. tridentata*. Sin embargo, Wong-Paz et al. (2014), no encontraron una diferencia significativa en el contenido fenólico total (TPC) obtenido por el método asistido por ultrasonido y por reflujo de calor, en donde factores como la temperatura también influyen directamente en los resultados obtenidos. Esto podría indicar que la obtención de un alto rendimiento de compuestos bioactivos no sólo depende de las condiciones técnicas del ensayo si no de la naturaleza de la muestra.

Asimismo, se ha reportado la optimización de los parámetros de estos procesos de extracción mediante la implementación de modelos estadísticos que permiten un mayor control de parámetros como el tiempo de extracción, la relación sólido-líquido y la concentración de solvente (Wong-Paz et al., 2015). Tal y como lo reportaron recientemente Aranda-Ledesma et al. (2024), que al emplear un método de extracción no convencional (EAU) en conjunto con un modelo estadístico Taguchi L9 se logró incrementar los rendimientos obtenidos de compuestos polifónicos de hojas de *F. cernua*, esto respecto a un método convencional. Otro factor importante para considerar al realizar la extracción es el tamaño de partícula, ya que un tamaño de partícula pequeño aumenta la superficie de contacto del material vegetal con el solvente y, por lo tanto, incrementa los rendimientos de extracción del compuesto de interés (Wong-Paz et al., 2015b). Por otra parte, De León et al. (2013), demostraron que el proceso de fermentación fúngica de los extractos de *F. cernua* condujo a un aumento en la presencia de fenoles libres, lo que influyó directamente en el potencial antioxidante. Asimismo, la fermentación en estado sólido no requiere el uso de ningún solvente orgánico (Martins et al., 2012), representando así una opción amigable con el medio ambiente. Sin embargo, los rendimientos obtenidos no solo dependerán del solvente o el tamaño de partícula utilizado; existen otros factores que influyen en el rendimiento, tales como: pH, temperatura, tiempo de extracción y composición química de la muestra (Dirán et al., 2019). Uno de los problemas que surge al utilizar extractos vegetales como sustancias antimicrobianas, es la contaminación por hongos y mohos, principalmente al utilizar materiales vegetales frescos, debido a que no siguen técnicas asépticas durante los procesos de extracción. Por lo tanto, el proceso de esterilización es una opción viable para la

solución de este problema (Terrazas-Hernández et al., 2018); sin embargo, muchos compuestos funcionales (polifenoles y flavonoides) son sensibles al calor (Ying et al., 2019). Teniendo esto en cuenta, Terrazas-Hernández et al. (2018) demostraron que los extractos sometidos a procesos de esterilización no mostraron una disminución en el potencial antioxidante respecto a los extractos no esterilizados.

Dentro de las propiedades más estudiadas de los compuestos bioactivos presentes en las plantas del semi-desierto mexicano se encuentran la actividad antioxidante, así como la actividad antibacteriana y antifúngica, por mencionar algunas, las cuales se han atribuido a su alto contenido de compuestos polifenólicos y otros fitoquímicos. A continuación, se discuten dichas propiedades de cada una de las especies.

Propiedades antioxidantes

J. dioica

Gutiérrez-Tlahque et al. (2019) determinaron que los extractos de *J. dioica* presentan una cantidad importante de metabolitos secundarios que son producidos por la planta durante el estrés oxidativo debido a la deshidratación. Algunos de estos metabolitos son: ésteres alquil, ésteres alquil del ácido ferúlico, cetonas diterpénicas y fenoles. En un estudio más reciente, estos autores demostraron que la ubicación geográfica, así como las condiciones climáticas y edáficas de la región y el solvente utilizado influyen directamente en el potencial antioxidante de los extractos de tallo y raíz, así como en los niveles totales de fenoles y flavonoides (Gutiérrez-Tlahque et al. 2021). Además, Gutiérrez-Tlahque et al. (2018) determinaron que diversos factores, como el sitio de recolección, el momento de recolección y el solvente de extracción, afectan los niveles de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante.

Por otro lado, Terrazas-Hernández et al. (2018) demostraron que el proceso de esterilización no afecta considerablemente la actividad antioxidante en los ensayos de $DPPH^{\bullet}$ respecto a los extractos no esterilizados, a pesar de que se observa una mayor cantidad de fenoles totales, lo que puede deberse a la pérdida de otros compuestos antioxidantes (compuestos nitrogenados, carotenoides o ácido ascórbico) que contribuyeron a la suma total de la capacidad antioxidante del extracto (Pastene, 2008). Sin embargo, en los ensayos de $ABTS^{\bullet+}$ se reportó un ligero aumento en las muestras esterilizadas, lo que podría deberse a un incremento en fenoles y flavonoides, así como a algunos compuestos derivados de reacciones de caramelización y reacciones de Maillard con capacidad para quelar metales y proporcionar así, una mayor actividad antioxidante (Yu et al., 2012). No obstante, a pesar del aparente potencial de los extractos de *J. dioica*, otros informes la posicionan como una especie con un potencial menor en comparación con otras especies evaluadas (Wong-Paz et al., 2015b; Wong-Paz et al., 2014).

F. cernua

Actualmente, los estudios sobre el contenido fenólico de *F. cernua* son relativamente escasos. Sin embargo, Wong-Paz et al. (2015b) encontraron altos niveles de fenoles totales (TPC), lo que se traduce en un mayor porcentaje de inhibición en los ensayos de $DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$ y LPO, respecto a los extractos de *J. dioica* y *T. diffusa*. Este potencial se atribuye a la polaridad de los solventes utilizados, que tienden a arrastrar compuestos fenólicos (no polares). Esta actividad coincide con la reportada por Álvarez-Pérez et al. (2020), quienes, en extractos acuosos de *F. cernua*, reportaron inhibición de radicales $DPPH^{\bullet}$ (13-55 %) y $ABTS^{\bullet+}$ (13-55 %), así como inhibición de la lipoperoxidación (20-57 %). Además, dicha actividad puede estar relacionada con la presencia de flavonoides y sus derivados, siendo los más representativos en este estudio la presencia de Luteolina 7-O-rutinosido y Apigenina 6-C-glucosil-8-C-arabinosilo, que fueron previamente reportados por De León-Zapata et al. (2016). La presencia de estos compuestos

podría estar relacionada con la actividad antioxidante reportada. Sin embargo, también se ha reportado que los extractos de *F. cernua* presentan un menor potencial antioxidante en comparación con otras especies del mismo género (*F. microphylla* y *F. retinophylla*) (Jasso de Rodríguez et al., 2019).

L. tridentata

Martins et al. (2012) obtuvieron altos niveles de ácido nordihydroguaiaretico (NDGA), además de quercetina y kaempferol en hojas de *L. tridentata* usando metanol al 90 %, cuya polaridad es mayor que otros solventes utilizados (agua, etanol). En cuanto al contenido de flavonoides, reportaron una correlación entre el contenido total de flavonoides y el contenido de proteínas, lo cual es un signo de que estos compuestos se unen fácilmente a las proteínas y esta interacción puede enmascarar la capacidad antioxidante de los extractos. Por otra parte, en estudios más recientes se ha reportado la utilización de los extractos acuosos, alcohólicos e hidroalcohólicos de *L. tridentata*, siendo los extractos hidroalcohólicos los que mayor contenido de compuestos fenólicos mostraron (212.46 EAG·L^{-1}), exhibiendo también la mayor capacidad antioxidante evaluada por ensayos $ABTS^{\cdot+}$, $DPPH^{\bullet}$, FRAP, óxido nítrico y superóxido), dicha actividad puede estar atribuida a compuestos como Justicidin B y Beta peltain (Skouta et al. 2018). Esto coincide a lo reportado por Bamidele et al. (2024) quienes concluyen que los extractos hidroalcohólicos (60:40 etanol:agua) de hojas de esta planta permiten obtener una mayor cantidad de taninos hidrolizables siendo más efectiva la parte aérea de la planta respecto a los tallos para obtener este tipo de compuestos.

T. diffusa

Wong-Paz et al. (2015b) reportaron bajo contenido de TPC (2.5 - 4.70 mg GAE·g^{-1}) en extractos hidroalcohólicos de *T. diffusa* respecto a otras especies evaluadas (*F. cernua* y *E. camaldulensis*). Sin embargo, dichos extractos también mostraron una mayor captación de radicales $DPPH^{\bullet}$ (≈ 76.03 %) respecto a la inhibición de radicales $ABTS^{\cdot+}$ (≈ 30 %), por lo que se puede deducir que la muestra tiene más capacidad para donar un átomo de hidrógeno en lugar de transferir un electrón. Además, la actividad antioxidante puede ser debida a otros compuestos de naturaleza no fenólica responsables de dicha actividad. Por otro lado, Soriano-Melgar et al. (2012) reportaron que las hojas en peso húmedo de *T. diffusa* tienen un mayor contenido de compuestos fenólicos totales, así como un mayor potencial de captación de radicales $DPPH^{\bullet}$ y una tendencia a evitar el proceso de peroxidación lipídica (TBARS). También, se ha reportado que los extractos de *T. diffusa* a concentraciones de 300 µg·mL^{-1} presentan una actividad similar al ácido ascórbico por lo que podría para sustituir a los antioxidantes de uso común (Reyes-Becerril et al. 2024).

E. antisyphilitica

Actualmente, no hay muchos informes sobre las propiedades antioxidantes de la planta candelilla; sin embargo, en estudios recientes, Bautista-Hernández et al. (2021) reportaron que los residuos de candelilla resultantes del proceso de extracción de cera son ricos en contenido de flavonoides con rangos entre 43.71 – 78.95 (mE quercetina µg mL-^{1}), lo que indica la presencia de compuestos de naturaleza fenólica y, por lo tanto, se refleja con un potencial antioxidante en la captura de radicales libres ($DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$) con valores IC_{50} de 179.441 - 438.154 (µg mL^{-1}) y 46.78 – 69.01 (µg mL^{-1}), respectivamente; así como un potencial reductor férrico de estos residuos con valores entre 46.38 – 135.07 (mE ácido gálico µg mL^{-1}) e inhibición del proceso de oxidación lipídica (LPO) con valores entre 30.10 - 70.31 %. Los autores reportaron que la actividad antioxidante podría verse afectada debido dependiendo del proceso de extracción de cera. Este potencial antioxidante puede estar relacionado con la

presencia de varios compuestos previamente reportados, siendo el candelitannino (elagitannina) único y característico de la especie *E. antisyphilitica* (Ascacio-Valdés et al., 2013). También, se ha reportado la presencia de ácido elágico en concentraciones de 7.9 (mg g^{-1}) y se estableció que la concentración de este compuesto no se ve afectada por el proceso de extracción de los compuestos bioactivos (Ascacio-Valdés et al., 2010). Además del ácido elágico, se han identificado otros compuestos como el ácido gálico, catequina y taninos condensados (Rojas-Molina et al., 2013).

Propiedades antibacterianas

J. dioca

Se ha determinado que los extractos de rizomas de *J. dioca* esterilizados y no esterilizados presentaron actividad inhibitoria similar contra *Streptococcus mutans (*Terrazas-Hernández et al., 2018). Por otro lado, dentro de ámbito agrícola se ha determinado que los extractos de *J. dioca* poseen potencial inhibitorio que afectan diversos cultivos vegetales, presentando una inhibición contra *Clavibacter michiganensis* subsp *michiganensis*, *Pseudomonas syringe* pv. *Tomato* y *Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatory*, las cuales afectan severamente al cultivo de tomate, siendo la citlalitriono (diterpeno) el principal compuesto al cual se le atribuye dicha actividad (Pérez-Pérez et al., 2020).

L. tridentata

Se ha reportado que la fracción orgánica (acetato de etilo) de *L. tridentata* presentó un potencial bactericida mayor, en comparación a los extractos hidroalcohólicos y las fracciones acuosas contra bacterias de importancia agrícola (*C. michiganensis sbsp. michiganensis, X. campestris y S. syringae*), dicho efecto se atribuye a que los compuestos de media y baja polaridad lavados con acetato de etilo pueden atravesar fácilmente las paredes celulares bacterianas (Morales-Ubaldo et al., 2021). También se ha demostrado que los extractos de *L. tridentada* presentan una fuerte inhibición de patógenos de importancia clínica como lo son los géneros *Staphylococcus* y *Streptococcus*, dicho efecto se le atribuye a la capacidad de los extractos para actuar como potenciadores de antibióticos de origen β-lactámicos (Turner et al., 2021). Además, se ha reportado que los extractos de cloroformo de *L. tridentata* presentan un alto potencial de inhibición contra patógenos resistentes a diversos antibióticos obteniendo valores de Concentración Mínima Inhibitoria (CIM) contra *M. tuberculosis* (12.5-25 $\mu g \cdot mL^{-1}$), *Staphylococcus aureus* (6.25 $\mu g \cdot mL^{-1}$) y (12.5 µg/mL) y otras bacterias gram positivas, dicha actividad es atribuida a dos ciclolignanos denominados como 4,4'-dihydroxy-3-methoxy-6,7'-cyclolignan y 3,4-dihydroxy-3',4'-dimethoxy-6,7'-cyclolignan (Núñez-Mojica et al., 2021).

T. diffusa

Se ha reportado que las infusiones y extractos metanolicos de *T. difussa* presentan una inhibición *de Vibrio parahaemolyticus* entre el 20-50% a concentraciones entre 200 - 800 $\mu g \cdot mL^{-1}$ (Reyes-Becerril et al., 2020). Con base a estos resultados, el mismo grupo de investigación aplicó los extractos acuosos de *T.diffusa* en el desarrollo de nanopartículas de oro para la inhibición de *Vibrio parahaemolyticus* y *Aeromonas hydrophila* entre el 20 y 35 % a concentraciones entre los 200 y 800 ($mg \cdot mL^{-1}$), dicho efecto se atribuye a que al tratarse de bacterias Gram negativas poseen doble membrada de lipopolisacáridos, lo cual las vuelve más susceptibles a la acción de las nanopartículas (Reyes-Becerril et al., 2021). Además, de una fuerte actividad sobre las especies patógenas *S. aureus* y *S. pyogenes* en ensayos *in vitro* (Reyes-Becerril et al. 2024).

Propiedades antifúngicas

J. dioica

Se ha reportado que los extractos etanólicos crudos de *J. dioca* inhiben el crecimiento de *Fusarium. oxysporum* hasta en un 90% a concentraciones mayores de 125 $mg \cdot L^{-1}$ (Tucuch-Pérez et al., 2020). Además, de tener un poder moderado para inhibir las especies *Alternaria alternata* , *Sclerotium rolfsii* , *Colletotrichum gloeosporioides*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* siendo la parte de la planta con mayor potencial inhibitorio respecto a los tallos. Dicho potencial se atribuyó a los ésteres alquílicos de ácido acético y ferúlico, así como a los diterpenos, los cuales fueron caracterizados física y espectroscópicamente (Gutiérrez-Tlahque et al., 2019).

F. cernua

Alvarez-Perez et al. (2020) demostraron que los extractos acuosos de *F. cernua* inhiben en valores de hasta 60%, a tres especies de hongos fitopatógenos de importancia en poscosecha en tomate. Asimismo, en un estudio previo, De León et al. (2013) comprobaron que los extractos fermentados *de F. cernua* presentaban porcentajes de inhibición mayores al 5% sobre los hongos fitopatógenos *Penicillium expansum* y *Fusarium oxysporum*, en comparación con los extractos no fermentados, dicha actividad inhibitoria fue atribuida a que los hongos fermentadores polimerizaron y despolimerizaron por medio enzimas los monómeros fenólicos presentes en la muestra, provocando de esta manera un mayor potencial antioxidante y por lo tanto un mayor poder inhibitorio. Más tarde, De León-Zapata et al. (2015) establecieron que la presencia de ácido gálico y flavonoides en infusiones de hojas de *F.cernua* son las responsables de la actividad inhibitoria de los hongos *Rhizopus stolonifer*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum gloeosporioides.* Además, se ha reportado que los extractos etanólicos inhiben la esporulación conoidal eficientemente de las especies *Monilinia fructigena, Botrytis cinereae* y *Venturia inaequalis;* sin embargo, mostraron un nulo efecto ante las esporas de *Alternaria solani* (Ganchev, 2022).

L. tridentata

Peñuelas-Rubio et al. (2017), demostraron que los extractos de *L. tridentata* obtenidos con el uso de diclorometano y metanol presentaron un alto efecto inhibitorio contra *Fusarium oxysporum radicis-lycopersici* a concentraciones de 3000 y 4000 ppm, respectivamente. Además de que estimularon el desarrollo vegetativo de la planta de tomate, por lo que representa una opción viable para el control del patógeno causante de la pudrición de la corona. Sin embargo, el uso de dichos solventes no es recomendable debido a los efectos tóxicos que pueden presentar al medio ambiente y la salud humana. En este sentido, Bamidele et al. (2024) indican que los extractos hidroalcohólicos (etanol:agua) presentaron un efecto inhibitorio superior al 50 y 40 % sobre *F. oxysporum* y *Alternaria alternata*, respectivamente, siendo los compuestos ácido cafeico 4-O-glucósido, ramnetina, ácido protocatechuico 4-O-glucósido, kaempferol, (+)-galocatequina y luteolina las principales moléculas responsables de dicho potencial antifúngico y demostrando de la misma manera que el uso de solventes verdes permite obtener compuestos de calidad sin efectos nocivos para el ambiente.

T. diffusa

En el caso de esta especie, se ha reportado que los compuestos polifenolicos obtenidos a partir de los tallos tienen la capacidad de inhibir la enzima endo-1,3-β-glucanasa del hongo *Botrytis cinérea*, la cual cumple una función fisiológica en los procesos morfogenéticos durante el desarrollo de algunas especies fúngicas, en este sentido los compuestos apigenina y luteolina fueron los responsables de dicha actividad con un potencial de inhibición superior al 60%

(Tapia-Quirós et al., 2020).

E. antisyphilitica
Como se mencionó anteriormente, la presencia de la candelitanina (elagitanino) aislado de la fracción de compuestos fenólicos totales, mostró una actividad inhibitoria de fitopatógenos (*Alternaria alternata, Fusarium oxysporum Fusarim lycopersici, Colletotrichum gloeosporioides y Rhizoctonia solani*) entre al 20 y 45 %, aproximadamente (Ascacio-Valdés et al., 2013), por lo que representa una alternativa para su aplicación dentro de la industria alimentaria para el control de fitopatógenos.

Propiedades citotóxicas
Muchos de los fármacos que se han empleado en el tratamiento contra los diferentes tipos de cáncer tienen un origen vegetal, los cuales han sido aislados o bien generados semi sintéticamente a partir de los mismos. En este sentido, se ha reportado que los extractos etanólicos de *T. diffusa* tienen actividad citotóxica sobre la línea celular MDAMB-231 (cáncer de mama), estableciendo que el efecto sobre la línea celular es directamente proporcional a la dosis aplicada, así mismo se identificaron dos compuestos; la arbutina y la apigenina como los responsables de dicha actividad (Avelino-Flores et al., 2014). También se ha demostrado su potencial para inhibir la actividad de líneas celulares de mieloma múltiple (NCI-H929, U266 y MM1S), usando extractos obtenidos con acetona. Además, los autores identificaron que la naringenina y la apigenina 7- *O* -(4″- *O* - *p* - *E* -cumaroil)-glucósido son las moléculas con mayor actividad frente a dichas líneas celulares (Willer et al., 2019).
Mientras que Morales-Velázquez et al. (2019) evaluaron los efectos genotóxicos en el proceso de gestación de los extractos acuosos de raíz de *J. dioca*, determinando que éstos no afectan el proceso de gestación en ratas preñadas (60-100 $mg{\cdot}kg^{-1}$). Sin embargo, dichos extractos muestran una leve toxicidad en las crías al disminuir la cantidad de eritrocitos policromáticos (PCE) a concentraciones de 300 $mg{\cdot}kg^{-1}$. Estos resultados coinciden con lo reportado por Araujo-Espino et al. (2017), quienes evaluaron el efecto genotóxico de los extractos acuosos de *J. dioca* sobre ratones macho en los cuales no se observó un efecto negativo en eritrocitos policromáticos (PCE), eritrocitos micro nucleados policromáticos (PCEMN) y eritrocitos micro nucleados (MNE) en concentraciones de hasta 300 $mg{\cdot}kg^{-1}$. Finalmente, se ha informado que los extractos de *L. tridentatata* utilizando solventes verdes (agua, etanol y mezcla de ambos) no muestran efectos nocivos para células HS27 no cancerosas en concentraciones de hasta 120 $\mu g{\cdot}mL^{-1}$ (Skouta et al., 2018).

Propiedades neuro activas
Los compuestos fenólicos cumplen con múltiples roles dentro del sistema nervioso central (SNC), ya que son capaces de interactuar con objetivos moleculares específicos y vías subyacentes relacionadas con la neurodegeneración (Ebrahimi y Schluesener, 2012). En este sentido, los extractos acuosos de *T. diffusa*, han mostrado tener un alto potencial de la inhibición de la enzima hMAO-A (mono aminooxidasa A humana) involucrada en el desarrollo de enfermedades psiquiátricas y neurológicas, obteniendo valores de IC_{25} de 0.352 ($mg{\cdot}mL^{-1}$). También, es capaz de inhibir la actividad de las enzimas acetilcolinesterasa (AChE) y butirilcolinesterasa (BuChE), que intervienen en la hidrolisis de neurotransmisores, reportándose valores de IC_{25} de 0.352 y 0.370 ($mg{\cdot}mL^{-1}$), respectivamente. Por lo que representa una opción viable para ser aplicado como un agente neuro activo. Además de su potencial como inhibidor de enzimas, presenta una baja citotoxicidad neuronal afectando la viabilidad neuronal a concentraciones mayores a 0.500 ($mg{\cdot}mL^{-1}$) (Bernardo et al., 2017). Sin embargo, en un estudio realizado por Gómez–Becerra et al. (2016), los autores reportaron que

a concentraciones menores de 100 $\mu g \cdot mL^{-1}$, se observa una baja toxicidad en astrocitos teniendo un umbral de toxicidad entre 100 y 1.000 $\mu g \cdot mL^{-1}$ por lo que el grado de toxicidad puede depender de la dosis aplicada. También se demostró que los extractos acuosos de *T. diffusa*, participan en la reducción de la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales están directamente relacionados en la neurodegeneración y la excitotoxicidad del glutamato (Bernardo et al., 2017). En un estudio más reciente, también se ha reportado que la estimulación de leucocitos con infusiones de *T. diffusa* (25 $\mu g \cdot mL^{-1}$) promueve la expresión génica proinflamatoria de IL-1β contra *V. parahaemolyticus* en ensayos *in vitro* (Reyes-Becerril et al., 2020). Estos hallazgos fueron posteriormente confirmados al evaluar el efecto citotóxico de nanopartículas de oro adicionadas con extractos acuosos de *T. difusa*, los cuales no afectaron la viabilidad celular en concentraciones de hasta 50 $\mu g \cdot mL^{-1}$ (Reyes-Becerril et al., 2021).

Efecto hipoglucémico

Valenzuela-Soto et al. (2019), reportaron que los extractos de hojas de *J. dioca* tienen un alto contenido de flavonoides y compuestos antioxidantes entre los cuales se pueden destacar la catequina, epi-catequina y ácido *p*-hidroxibenzoico como los posibles responsables de la actividad hipoglucémica. Sin embargo, a pesar de contener la mayor cantidad de compuestos antioxidantes su actividad, no fue igual a otros extractos también evaluados por lo que se requiere realizar más estudios sobre los mecanismos de acción y sobre todo a que compuestos se les atribuye dicha actividad. En este sentido se ha evaluado la capacidad de los extractos de *J. dioica* de inhibir no sólo las enzimas involucradas en la asimilación de almidón, sino también del potencial para regular la asimilación de glucosa, demostrando que esta especie reduce significativamente la captación de glucosa en ensayos ex vivo (saco intestinal invertido). En el caso de *F. cernua,* Aranda-Ledesma et al., (2022 y 2024), demostraron que los compuestos polifenolicos obtenidos a partir las hoja de esta planta, presentan actividad inhibitoria sobre las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa, las cuales participan en la asimilación de almidón y sus derivados los cuales se relacionan directamente con el desarrollo de enfermedades degenerativas como la diabetes tipo II y la obesidad, demostrando que los compuestos bioactivos presentes en esta planta presentan potencial para una futura aplicación dentro de la industria.

Otras aplicaciones prometedoras

Entre las diversas aplicaciones en las cuales han sido utilizados los compuestos de las especies antes mencionadas, se pueden destacar algunas que se describen a continuación. El extracto metanólico de *L. tridentata* ricos en ácido cafeico, catequina y epicatequina demostró tener una capacidad antioxidante para aumentar la estabilidad oxidativa de biodiesel, ya que retrasó el tiempo de oxidación con valores de índice de peróxido (100 meq O_2/kg) hasta cuatro veces más respecto al grupo control a concentraciones de 250 $mg \cdot L^{-1}$, además de proveer una mayor estabilidad con un índice de estabilidad oxidativa (IEO) de 32.27 h a 110°C a concentraciones de 1000 $mg \cdot L^{-1}$, representando una alternativa frente a los antioxidantes sintéticos utilizados en la producción de biodiesel (Sagaste et al., 2018). Por otra parte, los extractos etanólicos de *F. cernua* han sido implementado como un componente de recubrimientos comestibles nano laminados para alargar la vida útil de tomates reduciendo la pérdida de peso y el desarrollo microbiano, así como para disminuir intercambio de gases (O_2 y CO_2) y la producción de etileno (de Jesús Salas-Méndez et al., 2020). Estos resultados son similares a lo reportado por Ruiz-Martínez et al. (2020), que en una evaluación de una cubierta comestible a base de cera de candelilla y adicionado con extractos de *F. cernua*, las cuales mostraron resultados positivos en las propiedades de barrera (permeabilidad de vapor de agua) así como en las sensoriales, además de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos y un aspecto final del fruto aceptable

para su consumo. También se ha demostrado la capacidad de los extractos de *T. diffusa* para mejorar la actividad de los genes *IL-1β* , *TNF-α* e *IL-10,* logrando mejorar la actividad inmunológica en el proceso de infección por *Aeromonas hydrophila,* además de mejorar la actividad de mieloperoxidasa, óxido nítrico, superóxido dismutasa y catalasa en el moco y suero de la especie de pescado *Seriola rivoliana,* demostrado el efecto inmunoprotector de la especie *T. diffusa* por lo que podría implementarse como aditivo en la dieta en acuacultura.

CONCLUSIÓN

Las plantas del semi-desierto mexicano, representan una fuente valiosa de compuestos fitoquímicos con valor agregado que destacan por sus propiedades antioxidantes y su potencial para ser aplicados dentro en la industria médica y agroalimentaria, permitiendo de esta manera reducir la dependencia al uso de compuestos sintéticos y promoviendo actividades ambientalmente responsables. Esta revisión proporciona una base sólida para futuras investigaciones que permitan desarrollar aplicaciones prácticas de estas especies en diversas áreas de la industria agrobiotecnológica y farmacéutica.

REFERENCIAS

Adame-Miranda, S. J., Granados-Guzmán, G., Silva-Mares, D. A., Acevedo-Fernández, J. J., Waksman-Minsky, N., & Salazar-Aranda, R. (2021). Evaluation of antihyperglycemic activity of plants in northeast Mexico. *Cellular and Molecular Biology*, *67*(1), 212-218. https://doi.org/10.14715/cmb/2021.67.1.30

Aranda-Ledesma, N. E., Aguilar-Zárate, P., Bautista-Hernández, I., Rojas, R., Robledo-Jiménez, C. L., & Martínez-Ávila, G. C. G. (2024). The Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction for Bioactive Compounds from Flourensia cernua and Jatropha dioica and the Evaluation of Their Functional Properties. *Horticulturae*, *10*(7), 709. https://doi.org/10.3390/horticulturae10070709

Aranda-Ledesma, N. E., González-Hernández, M. D., Rojas, R., Paz-González, A. D., Rivera, G., Luna-Sosa, B., & Martínez-Ávila, G. C. (2022). Essential Oil and Polyphenolic Compounds of Flourensia cernua Leaves: Chemical Profiling and Functional Properties. *Agronomy*, *12*(10), 2274. https://doi.org/10.3390/agronomy12102274

Araujo-Espino, D. I., Zamora-Perez, A. L., Zúñiga-González, G. M., Gutiérrez-Hernández, R., Morales-Velazquez, G., & Lazalde-Ramos, B. P. (2017). Genotoxic and cytotoxic evaluation of Jatropha dioica Sessé ex Cerv. by the micronucleus test in mouse peripheral blood. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 86, 260-264. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.03.017

Ascacio-Valdés, J., Aguilera-Carbó, A., Martínez-Hernández, J., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. (2010). Euphorbia antisyphilitica residues as a new source of ellagic acid. *Chemical Papers*, *64*(4), 528-532. https://doi.org/10.2478/s11696-010-0034-6

Ascacio-Valdés, J., Burboa, E., Aguilera-Carbo, A. F., Aparicio, M., Pérez-Schmidt, R., Rodríguez, R., & Aguilar, C. N. (2013). Antifungal ellagitannin isolated from Euphorbia antisyphilitica Zucc. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *3*(1), 41-46. https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60021-0

Flores, A., & Guadalupe, M. D. C. (2014). Evaluación de la actividad antitumoral y estudio fitoquimico de extractos de Turnera diffusa y Verbesina persicifolia. http://www.rdcb.cbg.ipn.mx/handle/20.500.12273/699

Bamidele, M. O., Pérez, O. B. Á., Sandoval-Cortes, J., Flores-López, M. L., Chavez-González, M. L., & Aguilar, C. N. (2024). Polyphenolic Bioactive Compounds from Larrea

tridentata (DC.) Coville: Extraction, Characterization, Antioxidant, and Antifungal Activities. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4370220/v1

Cruz-Aldaco, K., Sánchez-Aldana, D., Ortega-Hernández, S., Cárdenas-Félix, G., Aguilera-Carbo, A., Ascasio-Valdes, J. A., & Aguilar, C. N. (2019). Analysis and quantification of Larrea tridentata polyphenols obtained by reflux and ultrasound-assisted extraction. In *Green Chemistry and Biodiversity* (pp. 97-110). Apple Academic Press. http://dx.doi.org/10.1201/9780429202599-8

de Jesús Salas-Méndez, E., Vicente, A., Pinheiro, A. C., Ballesteros, L. F., Silva, P., Rodríguez-García, R., & de Rodríguez, D. J. (2019). Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of Flourensia cernua to extend the shelf-life of tomato (Solanum lycopersicum L.) fruit. *Postharvest biology and technology*, *150*, 19-27. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008

De León-Zapata, M. A., Pastrana-Castro, L., Rua-Rodríguez, M. L., Alvarez-Pérez, O. B., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2016). Experimental protocol for the recovery and evaluation of bioactive compounds of tarbush against postharvest fruit fungi. Food chemistry, 198, 62-67. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.034

Dirar, A. I., Alsaadi, D. H. M., Wada, M., Mohamed, M. A., Watanabe, T., & Devkota, H. P. (2019). Effects of extraction solvents on total phenolic and flavonoid contents and biological activities of extracts from Sudanese medicinal plants. *South African Journal of Botany*, *120*, 261-267. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.003

Ebrahimi, A., & Schluesener, H. (2012). Natural polyphenols against neurodegenerative disorders: potentials and pitfalls. *Ageing research reviews*, *11*(2), 329-345. https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.01.006

El-Demerdash, F. M., Jebur, A. B., Nasr, H. M., & Hamid, H. M. (2019). Modulatory effect of Turnera diffusa against testicular toxicity induced by fenitrothion and/or hexavalent chromium in rats. *Environmental toxicology*, *34*(3), 330-339. https://doi.org/10.1002/tox.22688

Ganchev, D. (2022). Antisporulation Action Of Tarbush Plant (Flourensia Cernua) Towards Conidiospores Of Plant Pathogens. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture (MJSA)*, *6*(2), 81-84. http://doi.org/10.26480/mjsa.02.2022.81.84

Gutiérrez-Tlahque, J., Aguirre-Mancilla, C. L., López-Palestina, C., Sánchez-Fernández, R. E., Hernández-Fuentes, A. D., & Martin Torres-Valencia, J. (2019). Constituents, antioxidant and antifungal properties of Jatropha dioica var. dioica. Natural Product Communications, 14(5). https://doi.org/10.1177/1934578X19852433

Gutiérrez-Tlahque, J., Mancilla, C. L. A., Raya-Pérez, J. C., Pimentel, J. G. R., Jiménez-Alvarado, R., & Fuentes, A. D. H. (2018). Effect of climate conditions on total phenolic content and antioxidant activity of Jatropha dioica Cerv. var. dioica. Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura, 45(1), 70-81. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6660683

Jasso-De Rodríguez, D., Hernandez-Castillo, D., Angulo-Sanchez, J. L., Rodriguez-Garcia, R., Villarreal Quintanilla, J.A., Lira-Saldivar, R.H., (2007). Antifungal Activity in Vitro of Flourensia spp. Extracts on Alternaria sp., Rhizoctonia Solani, and Fusarium Oxysporum. Industrial Crops and Products. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.08.007

Lan Y. (2019). Waxes. *Encyclopedia of food chemistry*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22344-5

Li, H., Deng, Z., Wu, T., Liu, R., Loewen, S., & Tsao, R. (2012). Microwave-assisted extraction of phenolics with maximal antioxidant activities in tomatoes. *Food Chemistry*, *130*(4), 928-936. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.019

Morales-Velazquez, G., Lazalde-Ramos, B. P., Gómez -Meda, B. C., Zúñiga-González, G. M., Ortiz-García, Y. M., Gutiérrez-Hernández, R., & Zamora-Pérez, A. L. (2019). Genome Damage in Rats after Transplacental Exposure to Jatropha dioica Root Extract. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2019. https://doi.org/10.1155/2019/2962950

Núñez-Mojica, G., Vázquez-Ramírez, A. L., García, A., Rivas-Galindo, V. M., Garza-González, E., González-Bravo, G. E. C., & del Rayo Camacho-Corona, M. (2021). New cyclolignans of Larrea tridentata and their antibacterial and cytotoxic activities. *Phytochemistry Letters*, *43*, 212-218. https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.04.013

Peñuelas-Rubio, O., Arellano-Gil, M., Verdugo-Fuentes, A. A., Chaparro-Encinas, L. A., Hernández-Rodríguez, S. E., Martínez-Carrillo, J. L., & Vargas-Arispuro, I. D. C. (2017). Larrea tridentata extracts as an ecological strategy against Fusarium oxysporum radicis-lycopersici in tomato plants under greenhouse conditions. *Revista mexicana de fitopatología*, *35*(3), 360-376. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1703-3

Pérez-Pérez, J. U., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Cuevas-Sánchez, J. A., & Guerra-Ramírez, P. (2020). In vitro antimicrobial activity of Jatropha dioica Seseé extracts against tomato phyto-pathogenic bacteria. *Polibotánica*, (49), 125-133. http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.49.8

Reyes-Becerril, M., Maldonado, M., Vimolmangkang, S., & Angulo, C. (2024). In vivo and ex vivo studies support the immunostimulant and immunoprotective effect of Damiana (Turnera diffusa Willd) in Almaco Jack (Seriola rivoliana). *Fish & Shellfish Immunology*, *146*, 109369. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109369

Reyes-Becerril, M., Ruvalcaba, F., Sánchez, V., López, M. G., Silva-Jara, J., Hernández-Adame, L., & Angulo, C. (2021). Green synthesis of gold nanoparticles using Turnera diffusa Willd enhanced antimicrobial properties and immune response in Longfin yellowtail leukocytes. *Aquaculture Research*, *52*(7), 3391-3402. https://doi.org/10.1111/are.15184

Rojas-Molina, R., De León-Zapata, M. A., Saucedo-Pompa, S., Aguilar-Gonzalez, M. A., & Aguilar, C. N. (2013). Chemical and structural characterization of Candelilla (Euphorbia antisyphilitica Zucc.). *Journal of medicinal plants research*, *7*(12), 702-705. http://www.academicjournals.org/JMPR

Ruiz-Martínez, J., Aguirre-Joya, J. A., Rojas, R., Vicente, A., Aguilar-González, M. A., Rodríguez-Herrera, R., ... & Aguilar, C. N. (2020). Candelilla wax edible coating with flourensia cernua bioactives to prolong the quality of tomato fruits. *Foods*, *9*(9), 1303. https://doi.org/10.3390/foods9091303

Silva-Belmares, Y., C. Rivas-Morales, E. ViverosValdez, M. G. De la Cruz-Galicia, & P. Carranza-Rosales. (2014). Antimicrobial and cytotoxic activities from Jatropha dioica roots. Pakistan Journal of Biological Sciences 17:748–750 https://doi.org/10.3923/pjbs.2014.748.750

Skouta, R., Morán-Santibañez, K., Valenzuela, C. A., Vasquez, A. H., & Fenelon, K. (2018). Assessing the antioxidant properties of Larrea tridentata extract as a potential molecular therapy against oxidative stress. *Molecules*, *23*(7), 1826. https://doi.org/10.3390/molecules23071826

Soriano-Melgar, L. D. A. A., Alcaraz-Meléndez, L., Méndez-Rodríguez, L. C., Puente, M. E., Rivera-Cabrera, F., & Zenteno-Savín, T. (2012). Antioxidant and trace element content of damiana (Turnera diffusa Willd) under wild and cultivated conditions in semi-arid zones. *Industrial Crops and Products*, *37*(1), 321-327. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.12.017

Szewczyk, K., & Zidorn, C. (2014). Ethnobotany, phytochemistry, and bioactivity of the genus Turnera (Passifloraceae) with a focus on damiana—Turnera diffusa. *Journal of ethnopharmacology*, *152*(3), 424-443. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.01.019

Tapia-Quirós, P., Martínez-Téllez, M. Á., Ávila-Quezada, G. D., & Vargas-Arispuro, I. (2020). Inhibition of fungal endo-1, 3-β-glucanase by phenols isolated from Turnera diffusa: an alternative for conventional antifungals. Revista mexicana de fitopatología, 38(1), 160-169. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-3

Tucuch-Pérez, M. A., Arredondo-Valdés, R., & Hernández-Castillo, F. D. (2020). Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against Fusarium oxysporum from tomato by microdilution in plate method. Nova scientia, 12(25). https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345

Turner, T., Ruiz, G., Gerstel, J., & Langland, J. (2021). Characterization of the antibacterial activity from ethanolic extracts of the botanical, Larrea tridentata. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, *21*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/s12906-021-03344-9

Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Trends in Food Science & Technology, 17(6), 300-312. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004

Willer, J., Jöhrer, K., Greil, R., Zidorn, C., & Çiçek, S. S. (2019). Cytotoxic properties of Damiana (Turnera diffusa) extracts and constituents and a validated quantitative UHPLC-DAD assay. *Molecules*, *24*(5), 855. https://doi.org/10.3390/molecules24050855

Wong-Paz, J. E., Castillo-Inungaray, M. L., López-López, L. I., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillon, G. V., & Aguilar, C. N. (2010). Jatropha dioica: Fuente potencial de agentes antimicrobianos. *Revista Científica de la universidad Autónoma de Coahuila*, *2*(4).

Wong-Paz, J. E., Contreras-Esquivel, J. C., Rodríguez-Herrera, R., Carrillo-Inungaray, M. L., López, L. I., Nevárez-Moorillón, G. V., & Aguilar, C. N. (2015b). Total phenolic content, in vitro antioxidant activity and chemical composition of plant extracts from semiarid Mexican region. *Asian pacific journal of tropical medicine*, *8*(2), 104-111. https://doi.org/10.1016/S1995-7645(14)60299-6

Wong-Paz, J. E., Márquez, D. B. M., Ávila, G. C. M., Cerda, R. E. B., & Aguilar, C. N. (2015a). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from native plants in the Mexican desert. Ultrasonics sonochemistry, 22, 474-481. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.06.001

Yin, Q., Mu, H., Zeng, M., Gao, D., Qin, F., Chen, J., & He, Z. (2019). Effects of heating on the total phenolic content, antioxidant activities and main functional components of simulated Chinese herb candy during boiling process. Journal of Food Measurement and Characterization, 13(1), 476-486. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9961-7

Yu, X., Zhao, M., Hu, J., Zeng, S., & Bai, X. (2012). Correspondence analysis of antioxidant activity and UV–Vis absorbance of Maillard reaction products as related to reactants. LWT-Food Science and Technology, 46(1), 1-9. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.010

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO DE CIUDAD VALLES

INFORMES:
Carretera al Ingenio Plan de Ayala Km.2
Col. Vista Hermosa, C.P. 79010
Cd. Valles, S.L.P.
Tel. 481 38 1 20 44